



**НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ
КОНФЕРЕНЦІЇ**

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

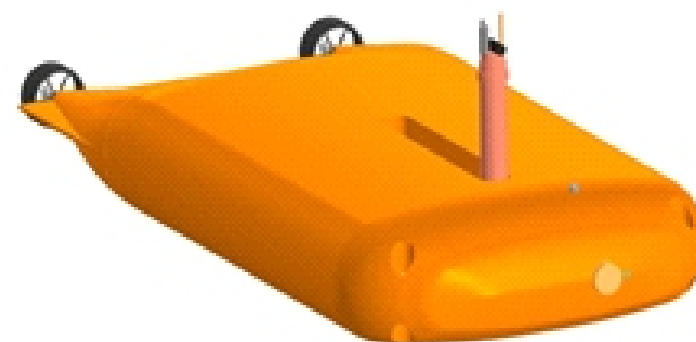
ПІДВОДНА ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЯ

ПТТ-2021

МАТЕРІАЛИ

**ХІ ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ
КОНФЕРЕНЦІЇ З МІЖНАРОДНОЮ УЧАСТЮ**

09-10 грудня 2021 року



Науково-дослідна частина
Національного університету
кораблебудування
імені адмірала Макарова

54025, м. Миколаїв,
пр. Героїв України, 9
Тел.: (0512) 70-91-04
<http://conference.nuos.edu.ua>
e-mail: conference@nuos.edu.ua

Навчально-науковий інститут
автоматики та електротехніки
Національного університету
кораблебудування
імені адмірала Макарова

54021, м. Миколаїв,
пр. Центральний, 3
Тел.: (0512) 47-70-95
<http://iae.nuos.edu.ua>
e-mail: university@nuos.edu.ua

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
імені адмірала Макарова**

Миколаїв ■ НУК ■ 2021

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
імені адмірала Макарова

**ПІДВОДНА ТЕХНІКА
І ТЕХНОЛОГІЯ**

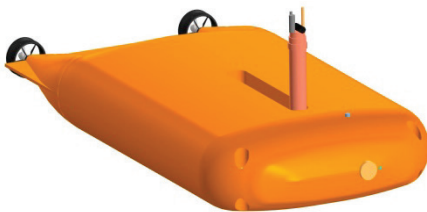
ПТТ-2021

МАТЕРІАЛИ

**XI Всеукраїнської науково-технічної конференції
з міжнародною участю**

09 – 10 грудня 2021 року

*Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
Науково-дослідний інститут підводної техніки,
вул. Кузнецька, 3
Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки
просп. Центральний, 3*



МИКОЛАЇВ • НУК • 2021

ОРГАНІЗАТОРИ:

1. Міністерство освіти і науки України
2. Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
3. Миколаївський національний університет імені В. Сухомлинського
4. Національний університет оборони України імені Івана Черняховського
5. Головне Управління ДСНС України в Миколаївській області
6. Державне підприємство «Дослідно-проектний центр кораблебудування»
7. Інститут археології НАН України
8. Федерація підводного спорту та підводної діяльності України
9. Центральний науково-дослідний інститут озброєння і військової техніки Збройних Сил України
10. Politechnika Gdanska, Polska

**Матеріали публікуються за оригіналами, наданими авторами.
Претензії до організаторів не приймаються.**

Відповідальна за випуск В. В. Трибулькевич

У 45 **Підводна техніка і технологія: матеріали XI Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю. — Миколаїв : НУК, 2021. — 278 с.**

У збірнику подані матеріали XI Всеукраїнської НТК «Підводна техніка і технологія».

Розглянуті питання сучасного стану та завдань створення підводно-технічних засобів в інтересах організацій України, теоретичних основ функціонування, методів проектування та дослідження засобів підводної техніки, а також технологій ефективного застосування засобів підводної техніки.

Збірник може бути корисним для наукових співробітників, викладачів, інженерів та студентів.

УДК 004

ISBN 978-617-7472-88-8

© Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, 2021

СЕКЦІЯ 1. ТЕОРІЯ ПРОЕКТУВАННЯ ПІДВОДНИХ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ

УДК 532.58

WATER ENTRY OF A DISK AT SMALL ANGLES TO A FREE SURFACE

*Authors: Savchenko Yu.N.; Semenov Yu.A.; Vlasenko Yu.D.;
Savchenko G.Yu., Інститут гідромеханіки НАН України, м. Київ, Україна*

Interest in the hydrodynamics of the disk at the water entry is caused by the necessity to ensure the motion stability of high-speed vehicles of aerospace and marine purposes when crossing the interface. Cavitators are used to control the supercavitation flow, which inevitably occurs during the water entry of displacement vehicles [1]

It is also known that using the cone cavitators reduces the hydrodynamic drag and overloads [2, 3], and the disk (for the cone angle $\beta = 180^\circ$) also forms the maximal cavity and does not create lateral forces destabilizing the motion in the oblique flow [3, 4, 5].

Using a disk as a cavitator essentially facilitates a task of water entry [6], but formulates a new problem of inscribing a body into a supercavity contour formed by the disk.

Calculation of supercavities with partial wetting the disk and under the strong influence of the closeness of a free boundary is still too complicated for practical implementation [10]. Therefore, an experimental method may turn out to be more informative and provide required results for calculating the optimal shape of a hull and ensuring the non-ricochet stable water entry.

A series of experiments of the water entry of disk cavitators at a small angle of entry was performed in the laboratory at the Institute of Hydromechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine.

In the experiment, a pneumatic catapult shoots a rod with a disk with diameter 20 mm at its end into the water tank with dimensions $2 \times 0.34 \times 0.34$ m at angle $\theta = 5^\circ \div 15^\circ$ to the free surface with velocity $13 \div 15$ m/s. The water entry process was recorded by a video camera with frequency 1000 frames per second. Image processing made it possible to measure the radii of the lower and upper contours of supercavity boundaries in the longitudinal axial section of the supercavity by the vertical plane. Also, for-

mation of a surface jet and a surface dome above the level of an undisturbed water surface (UWS) was traced.

Fig. 1 shows the video shots of B-2.2 series of the experiment of frame-by-frame registration of the process of the water entry of the disk. Frames number $N = 10, 15, 20$ are given here.

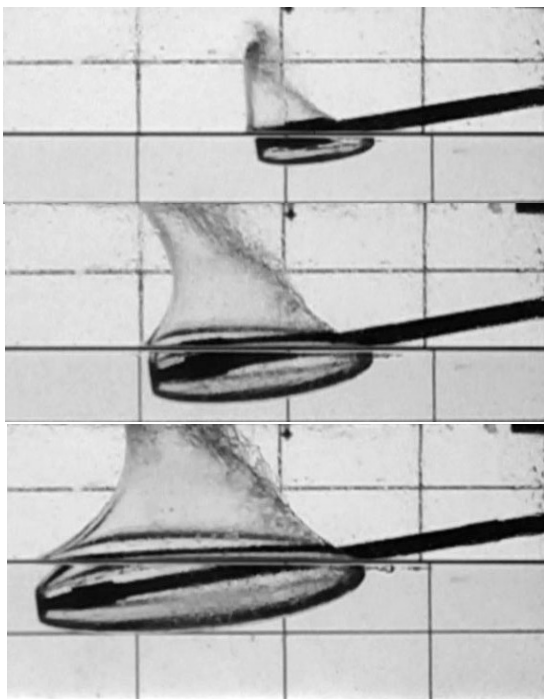


Fig. 1. $N=10,20,30$.

The photos at Fig.1 shows that entry at small angles $\theta = 0^\circ \div 30^\circ$, produce the upper and lower supercavity boundaries with a different shapes and principles of formation.

The measurement scheme shown in Fig. 2 was used in the experiments data processing. The scheme shows two coordinate systems:

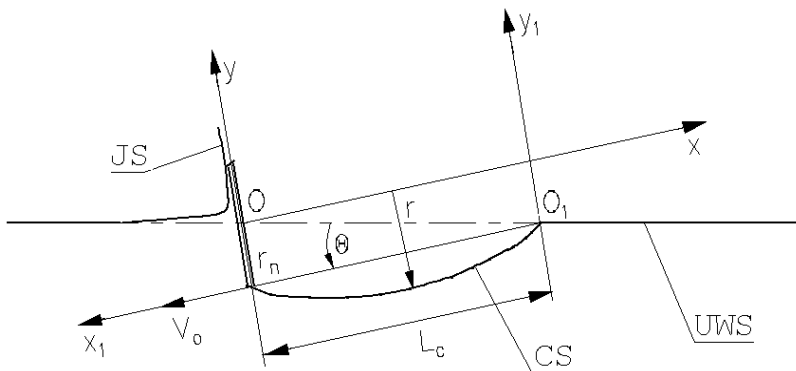


Fig.2

– System $X_1O_1Y_1$ is fixed, associated with point O_1 of the edge of the disk touching the liquid surface, where the positive direction of the O_1X_1 axis coincides with the direction of the disk motion velocity V_0 .

– System XOY is mobile, associated with the disk center O , where the positive direction of the OX axis is opposite to the velocity V_0 . A similar scheme was used by V.F. Zhuravlev (TsAGI) [9].

Here, CS is the cavity surface, JS is the jet surface, r_n is the disk cavitator radius, L_c is the cavity length, r is the radius of the lower contour of the cavity.

During the water entry at the small angle θ the supercavity contour boundaries and the free water surface have large perturbations. Therefore, it is convenient to use the unperturbed level of the water surface – UWS and the path of the disk cavitator center – the OX axis as fixed reference systems of linear parameters.

Communication with the atmosphere determines the shape and calculation of the supercavity contour since the cavitation number σ is known at the instant of formation of each supercavity cross section, which depends only on the depth H

$$\sigma(H) = (P_0 - P_c) \left/ \frac{\rho V_0^2}{2} \right. = (\rho g H) \left/ \frac{\rho V_0^2}{2} \right., \quad (1)$$

where $H = x_1 \sin \theta = V_0 t \sin \theta$ is the depth of immersion of the point of detachment of the lower supercavity contour.

Comparing the obtained parameters of the upper contours of the supercavity boundaries $r'(x)$ with the contours of the lower boundaries $r(x)$ one can see that in each cavity for the same x the upper contour radii $r'(x)$ exceeds dimensions of the respective lower contours (Fig. 3).

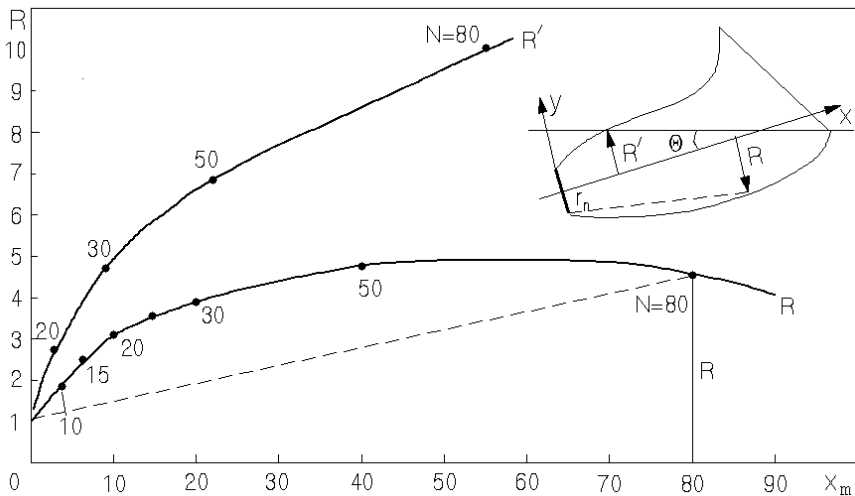


Fig.3

$$r'(x) \geq r(x), \quad (1 \leq x \leq 95) \quad (2)$$

An important generalization of the results of the supercavity measurements can be used for plotting the graphs of maximal supercavity dimensions $R'(x_m)$ and $R(x_m)$ at sequential instants of the water entry of the disk (frames $N=10 \dots 80$) (Fig. 3).

As can be seen from the scheme in Fig. 3, the dependence $R(x_m)$ can serve as the basis for formalizing the determination of the available useful volume within the supercavity. Really, the dashed line in the scheme of Fig. 7 between the ends of the radii r_n and R can be a generatrix for the formation

of a truncated cone within the supercavity. Moreover, if the lower cone boundary does not touch the points of the contour $r(x)$, then the upper boundary will not touch the contour $r'(x)$ due to the established inequality (2).

For the dependencies $R'(x_m)$ and $R(x_m)$ one proposes the approximation formulae:

$$R'=1+10 x_m/(x_m+15); \quad R=1+3.8 x_m/(x_m+8). \quad (3)$$

The value of the useful volume of the truncated cone can be estimated by the formula

$$W(x) = \pi(x/3)(R^2 + r_n^2 + Rr_n). \quad (4)$$

In estimating the hydrodynamic forces acting on the immersed disk, we used the approach of dividing the total hydrodynamic force F into two components: the drag force F_d for the fixed velocity V_0 and the inertial force F_i due to varying the additional mass of the disk m^*

$$F = F_d + F_i = C_x \frac{\rho V_0^2}{2} \pi r_n^2 + \frac{dm^*}{dt} \cdot V_0. \quad (5)$$

We write formula (5) in dimensionless form

$$\bar{F}(\theta, H) = \frac{F}{\frac{\rho V_0^2}{2} \pi r_n^2} = C_x(\bar{H}) + \frac{tg\theta}{\pi} \cdot \frac{dC_m(\bar{H})}{dH} = C_x(\bar{H}) + C_i(\theta, \bar{H}), \quad (6)$$

where $C_x(\bar{H})$ is the drag coefficient of the cavitating partially immersed disk; $\bar{H} = \frac{H}{Dn} = \frac{V_0 t}{D_n} \cdot tg\theta$ is the relative immersion of the disk; $C_m = \frac{m^*}{\rho r_n^3}$ is the additional mass coefficient for the cavitating disk. [7,8]

Fig. 4 shows graphs of the coefficients of the drag force $C_x(\bar{H})$ and inertial force $C_i(\theta, \bar{H})$. The inertial force coefficient C_i has a maximum when $\bar{H} = 0.63$. The total maximal hydrodynamic force varies in the range $\bar{F} = 0.87 \div 1.41$ when the angle changes in the range $\theta = 5^\circ \div 30^\circ$ and can be estimated with the approximation formula (where θ [rad], $\bar{H} = 0.63$).

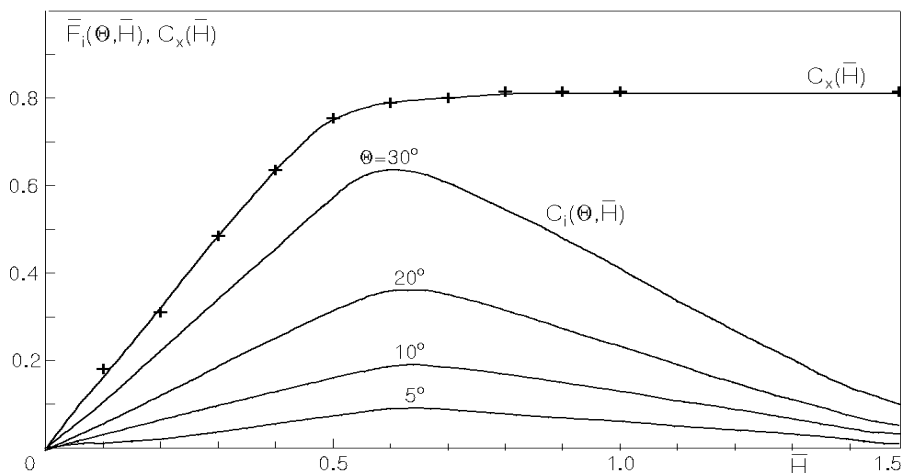


Fig. 4

$$\bar{F}_{\max} = 0.78 + 0.9\theta + 0.4\theta^2, \quad (7)$$

Conclusions

1. The methods of performing the experiment on the water entry of bodies at small angles of the path inclination have been described.
2. Samples of snapshots of shooting the patterns of underwater supercavitating flow around the disk during the water entry at the angle of the path inclination to the free surface $\theta = 10^\circ$ and the path length $L = 50d_n$ have been shown.
3. The method for measuring the lower and upper contours of the supercavity boundaries and methods for formalizing estimates of the supercavity's dimensions and volume during the water entry of the disk (Fig. 3, formulae (3), (4)) has been proposed.
4. The method for estimating the hydrodynamic forces during the water entry of the disk at the angles of the path inclination $\theta = 5^\circ \div 30^\circ$, (Fig. 4, formula (7)) has been proposed.

References:

1. R. Knepp, J. Daily, F. Hemmit. Cavitation. McGRAW. HILLBook, Company. 1970.
2. Savchenko Yu., Semenenko V., and others, Hydrodynamic characteristics of polygonal contours in supercavitating flow // Papers of Third International Symposium on Performance Enhancement for Marine Application – Newport RI, USA, 5 – 8 May 1997.
3. Y.N. Savchenko. Third International Symposium on Cavitation. Proc. V.2. 1998. Grenoble, France, pp. 9 – 19. Edited by J.M. Michel.
4. L.A. Epstein. Methods of the theory of dimensions and similarities in problems of ship hydromechanics. – Leningrad, Sudostroenie Publ., 1970, 207p. (in Russian)
5. S.I. Putilin. Stability of supercavitating slender body during water entry and underwater motion, AGARD FDP Workshop on "high body motion in water" Kiev, Ukraine, 1-3 September 1997, published in R-827.
6. Chang Xu, Jian Huang and others. Supercavitating flow around high-speed underwater projectile near free surface induced by air entrainment, AIP ADVANCES 8 published by American institute of physics, 035016 (2018) -16p.
7. G.V. Logvinovich. Hydrodynamics of flows with free boundaries. – Kiev, Naukova dumka, Publ., 1969, 269 p. (in Russian)
8. G.V. Logvinovich. Initial motion in a fluid with developed cavitation. Collection of works on hydrodynamics. – Moscow, TsAGI Publ., 1959, pp. 3 – 39. (in Russian)
9. Yu.F. Zhuravlev. Immersion of a disk in a fluid at an angle to the free surface. A collection of works on hydrodynamics. – Moscow, TsAGI Publ., 1959, 307p. (in Russian).
10. I.T. Egorov, Yu.M. Sadovnikov, I.I. Isaev, M.A. Basin. Artificial Cavitation. – Leningrad, Sudostroenie Publ., 1970, 207p. (in Russian)

УДК 629.58

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ПРОЕКТУВАННЯ І СЕРІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА ЗАСОБІВ МОРСЬКОЇ РОБОТОТЕХНІКИ В УКРАЇНІ

Автор: Бабкін Г.В., к.т.н, доцент НУК, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Значне зростання попиту на застосування засобів морської робототехніки (ЗМР) при виконання різноманітних підводно-технічних робіт на водних об'єктах не тільки України, а і Світу робить актуальним завдання їх серійного створення.

Не зважаючи на те, що у даному напрямі науково-технічної діяльності вже на сьогоднішній час отримані значні результати, висловлюватись про те, що цей вид діяльності вже сформував окрему промислову галузь, ще зарано. Причина цього полягає у тому, що досягнуті наукові результати носять розрізнений характер, тобто найчастіше кожен науковий результат стосується окремого елементу ЗМР, не торкаючись інших частин системи або ЗМР у цілому. Як наслідок цього – значні витрати коштів та часу на створення ЗМР та їх низьку конкурентоздатність порівняно до традиційних морських технічних засобів та технологій застосування.

Це дозволило сформулювати наукову проблему, яка полягає у тому, що створення ЗМР в інтересах України і зовнішнього ринку вимагає підвищення їх конкурентоздатності.

Вирішення цієї наукової проблеми можливо декількома традиційними шляхами:

- скорочення термінів проектування;
- підвищення обсягів створення ЗМР;
- підвищення якості ЗМР;
- скорочення витрат на створення ЗМР;
- бенчмаркінг.

Підвищення обсягів створення ЗМР можливо не розглядати як шлях для вирішення тому, що частіш за все, у світової практики ЗМР створюються одиничними, дослідними зразками для виконання конк-

ретних завдань, коли застосування традиційних технічних засобів або технологій неможливо. Але попит на даний вид технічних засобів, не зважаючи на зростання, все ще програє.

Підвищення якості також не допоможе вирішенню наукової проблеми тому, що створені зразки ЗМР залишаються на рівні дослідного зразка і всі виявлені недоліки конструкції можуть бути враховані лише у наступному проекті.

Бенчмаркінг не спрацює завдяки тому, що досвід зі створення ЗМР у всіх, хто займається цією діяльністю, знаходиться приблизно на одному рівні.

Тому для вирішення наукової проблеми створення конкурентоздатних ЗМР треба скористатися двома останніми шляхами: скорочення термінів проектування та скорочення витрат на створення.

Для вирішення цієї наукової проблеми була сформульована гіпотеза, яка передбачає використання у проектуванні сучасних інформаційних технологій і математичного моделювання та автоматизованого виробництва при реалізації результатів проектування.

Концепція розв'язання цієї наукової проблеми повинна також містити два шляхи реалізації, базуватись на двох відомих та апробованих технологіях:

- Building Informational Modeling, скорочено BIM [1];
- адаптована концепція Shipbuilding 4.0, на підставі Industry 4.0 [2].

Перший шлях передбачає повний перехід від фізичного та «гібридного» моделювання до математичного, об'єднання розрізаних математичних моделей елементів ЗМР в єдину комплексну модель ЗМР з використанням: віртуальних прототипів, чисельного моделювання та результатів натурних випробувань, поелементної бази даних з всіма відомими характеристиками елементів, поєднаних загальним програмним забезпеченням з елементами штучного інтелекту.

Але для створення ефективного інформаційно-моделюючого програмного комплексу (ІМПК) для вирішення проектних завдань необхідно сформулювати систему критеріїв, за допомогою яких ІМПК буде приймати рішення по формуванню складу ЗМР, а головний конструктор оцінювати результат його роботи.

Таким чином, набагато ефективніше та швидше працювати з електронною документацією порівняно з колишніми способами проекту-

вання. Причому не з документацією в її класичному розумінні, а з комплексами програм, які генерують модель і всі необхідні для виробництва на верстатах з ЧПК файли, а потім самі ними розпоряджаються. Завдяки чому на першому етапі проектування є можливість отримати орієнтовну, не оптимізовану конструкцію майбутнього ЗМР і заощадити час та інші ресурси проекту.

Другий шлях передбачає повну цифровізацію процесу виробництва ЗМР шляхом впровадження в виробничий процес елементів роботизованого керування та виробництва. Враховуючи, що ЗМР частини за все створюється одиничними зразками, витрати на процеси управління виробництвом та технологічної підготовки виробництва співмірні з витратами на саме виробництво. Застосування для виготовлення елементів та вузлів ЗМР автоматичних оброблювальних центрів та верстатів з ЧПК скорочує витрати на виготовлення зразка ЗМР.

Висновки: Сформульовані концептуальні шляхи впровадження цифрових інформаційних технологій як реалізації гіпотези для успішного розв'язку наукової проблеми створення конкурентоздатних ЗМР.

Список літератури:

1. Талапов, В. В. Основы ВІМ: введение в информационное моделирование зданий : учебное пособие. – Москва : ДМК Пресс, 2011. – 392 с.
2. Липкин Евгений. Индустрия 4.0: Умные технологии – ключевой элемент в промышленной конкуренции. – М.: Остек-СМТ, 2017. – 224 с.

УДК 629.5 : 681.5

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ РУШІЙНО-РУЛЬОВОГО КОМПЛЕКСУ ПІДВОДНОГО АПАРАТА В КОСОМУ ПОТОЦІ ВОДИ МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Автори: Блінцов В.С., д.т.н., професор; Король Ю.М., к.т.н., професор, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна; Надточий А.В., к.т.н, доцент, Херсонська філія Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна; Грудініна Г.С., асистент, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Робота рушійно-рульового комплексу (РРК) підводного апарата у маневрових режимах, зазвичай, протікає у косому потоці води, що набігає. Відомо, що у таких режимах упор РРК суттєво змінюється [1, 2]. Тому цю обставину необхідно враховувати при керуванні просторовим рухом підводних апаратів.

Для автономних ненаселених підводних апаратів (АНПА) врахування вказаного явища є особливо актуальним, оскільки стабілізація параметрів їх просторового руху має виконуватись в автоматичному режимі [3]. У зв'язку зі складністю басейнових досліджень цього явища дослідники широко застосовують методи комп'ютерного експерименту, які ґрунтуються на синтезі відповідних математичних моделей РРК, що працюють у косому потоці.

При цьому для дослідження руху АНПА та надводних суден використовують як моделі РРК з зосередженими параметрами [4, 5], так і моделі РРК з розподіленими параметрами [6, 7]. Вказані та інші дослідження дають загальні уявлення про особливості роботи РРК у косому потоці води, що набігає, а також підтверджують необхідність їх врахування при автоматичному керуванні рухом АНПА.

Досвід авторів у проектуванні АНПА свідчить, що для розробки високоефективних систем автоматичного керування такими апаратами слід більш детально вивчати роботу типових РРК, що використовуються у проектній практиці та, зокрема, вивчати характер залежностей упорів РРК від кутів набігання потоку води у діапазоні від нуля градусів до 30-35 град.

Метою роботи є визначення залежності гідродинамічних сил та моментів, що діють на елементи типових РРК АНПА, від геометричних, кінематичних та конструктивних характеристик при їх експлуатації.

З цією метою відому математичну модель АНПА як твердого тіла в рідині було доповнено рівняннями рушійно-рульових комплексів різних типів, що застосовуються в АНПА даного класу [8, 9].

Шляхом математичного моделювання було проведено дослідження динаміки АНПА з гребним гвинтом в напрямній насадці, потік води на який набігає під кутом від вісі гребного гвинта.

Моделювання проводилось для РРК Model PN160-1 типу «гребний гвинт у насадці» (виробництво КНР) з наступними параметрами:

- геометричні характеристики насадки: коефіцієнт розтвору – 1.32; внутрішній розрахунковий діаметр – 161.6 мм; відносне подовження – 0.80; тип профілю – авіаційно-сегментний;
- характеристики гребного гвинта: діаметр – 160 мм; дискове співвідношення – 0,57; крокове співвідношення – 0.9; тип профілю – авіаційно-сегментний; діаметр маточини – 33.4 мм.

Шляхом комп'ютерного моделювання було встановлено залежність загальної тяги рушійного комплексу F_x від кута набігання потоку δ , що призводить до відхилення від заданої швидкості.

На рис. 1 представлено графіки тяги РРК при відхиленні потоку на 10° , 20° і 30° , отримані шляхом математичного моделювання руху АНПА в косому потоці.

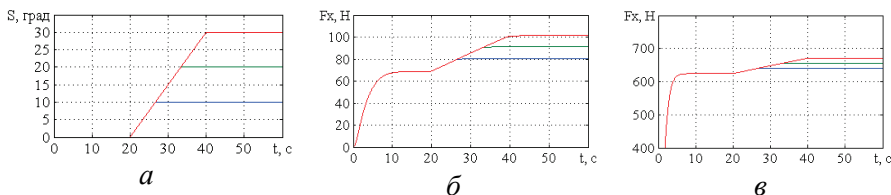


Рисунок 1 – Дослідження залежності тяги РРК від кута набігання потоку: *а* – кут набігання потоку на РРК;
б – сила тяги РРК в косому потоці, $n = 30$ об/с;
в – сила тяги РРК в косому потоці, $n = 60$ об/с

В даному випадку кут та швидкість потоку, що набігає, визначались з урахуванням швидкості руху АНПА, та коефіцієнту упору рушійного комплексу, що функціонує у косому потоці [1, 9]. На графіках представлено два варіанти розрахунків – при частотах обертання гвинта $n = 30$ об/с та $n = 60$ об/с.

Верифікація результатів, отриманих шляхом математичного моделювання, проводилась за даними модельних експериментів, виконаних професором Е. Мюллером в Дуйсбурзькому дослідному басейні для гребного гвинта в насадці [1].

Для побудови системи автоматичного керування швидкістю руху АНПА необхідно визначити залежності між частотою обертання гребного гвинта, силою тяги рушійного комплексу та кутом відхилення потоку у квазістаціонарному режимі роботи. Одним з ефективних методів досліджень РРК є метод імітаційного моделювання. Реалізовані в CFD-пакеті методи обчислювальної гідродинаміки є тією гілкою, яка пов'язує теоретичну та експериментальну гідроаеродинаміку та є ефективним засобом моделювання реальних течій. Одним із таких пакетів є Flow Vision [2].

Для проведення чисельного експерименту за допомогою інструментів програми Solid Works було побудовано твердотільні моделі насадки, кронштейна, приводу та гребного гвинта відповідних розмірів. У ході створення проекту в програмному комплексі FlowVision у боксі, що має форму паралелепіпеда, за допомогою фільтра рухомого тіла було вміщено елементи РРК, що відповідають фізичному експерименту. Розставлені граничні умови входу-виходу, стін. Також задавалися частота обертання рушії, кут і швидкість потоку, що набігає.

Для побудови 3D моделей використані авторські програми генерації насадок (GSN3D) і гребних гвинтів (GSP3D) і CAD SolidWorks [10], а для визначення діючих сил і моментів модуль FlowSimulation [11].

На рис. 2 представлено 3D-модель гребного гвинта, насадки та приводу, побудована в CAD SolidWorks.

Математична модель руху рідини є сукупністю рівнянь, що вирішуються методом кінцевих об'ємів. У цьому методі рівняння інтегруються за об'ємом кожного отвору розрахункової сітки та за відрізком часу (крок за часом). У FlowVision є можливість розрахунку цих рівнянь явним та неявним алгоритмом (скошена та неявна схема). У результаті проведення низки експериментів з моделювання рушійних комплексів було встановлено, що прийнятна неявна схема розрахунку [6].

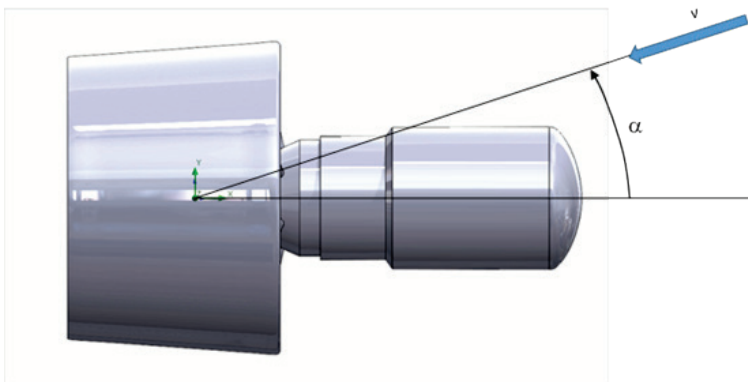


Рисунок 2 – Побудова 3D моделі РРК PN160-1

В роботі [7] наведено результати моделювання роботи гребного гвинта в насадці в пакеті FlowVision при різних кутах натікання потоку (з кроком у 30 градусів). Проте діапазон роботи при кутах від 0° до 35° досліджено не детально для практичного застосування при синтезі систем автоматичного керування.

Далі представлено результат CFD-моделювання роботи гвинта в напрямній насадці (PN160-1) у косому потоці. В табл.1 представлено вихідні дані для розрахунків, а в табл. 2 – результати моделювання.

Таблиця 1 – Вихідні дані для моделювання роботи рушійного комплексу PN160-1 в косому потоці води

№ варіанту	v , м/с	α°	n , об/с
1-4	3.0	0	30-60
5-8	3.0	10	30-60
9-12	3.0	20	30-60
13-16	3.0	30	30-60

де: v – швидкість потоку, що набігає; α° – кут між напрямком потоку, що набігає, і віссю Ox (вісь обертання гребного гвинта); n – частота обертання гребного гвинта.

Таблиця 2 – Результати CFD-моделювання роботи РПК PN160-1

№	T_x , Н	T_y , Н	Q_x , Нм	Q_z , Нм	R_x , Н	R_y , Н	M_z , Нм
1	83.575	-0.425	-2.528	-0.028	-15.387	-0.047	-0.008
2	189.866	-0.855	-5.286	-0.036	11.265	0.109	-0.013
3	328.444	-1.181	-8.886	-0.029	57.538	-0.448	-0.002
4	496.507	-1.844	-13.272	-0.031	124.724	-0.176	-0.038
5	87.324	-0.584	-2.577	-0.066	-13.967	-45.564	-3.380
6	194.718	-1.232	-5.345	-0.113	14.073	-56.064	-4.217
7	333.006	-2.338	-8.936	-0.193	61.708	-60.809	-4.936
8	505.312	-2.889	-13.379	-0.226	131.338	-70.950	-5.701
9	95.203	-0.536	-2.727	-0.020	-11.149	-85.495	-6.314
10	202.744	-1.081	-5.502	-0.017	17.530	-96.589	-7.971
11	343.597	-1.670	-9.142	0.015	65.921	-111.681	-9.404
12	511.066	-2.350	-13.526	-0.014	136.575	-126.540	-11.017
13	104.675	-0.327	-2.919	-0.012	-4.773	-122.335	-9.241
14	211.891	-0.694	-5.678	-0.061	28.370	-142.677	-11.542
15	350.620	-1.753	-9.281	-0.073	82.368	-141.817	-13.997
16	519.293	-1.366	-13.662	-0.097	155.169	-185.032	-15.778

де: T_x – упор гребного гвинта; T_y – бічна сила на гребному гвинті; Q_x – реактивний момент, необхідний для обертання гребного гвинта відносно вісі $0x$; Q_z – реактивний момент, що виникає на гребному гвинті відносно вісі $0z$; R_x – співвісна сила на комплексі привід-насадка; R_y – бічна сила на комплексі привід-насадка; M_z – реактивний момент, що виникає на комплексі привід-насадка відносно вісі $0z$; $F_x = T_x + R_x$ – співвісна сила тяги комплексу гвинт-привід-насадка PN160-1; $P_E = Q_x 2\pi n$ – необхідна потужність, що підводиться до гребного гвинта; $F_y = T_y + R_y$ – бічна сила на РПК.

Отримані результати моделювання завдань гідродинаміки в середовищі FlowSimulation досить добре узгоджуються з результатами фізичного експерименту при заданих початкових умовах [6].

На рис. 3-4 представлена залежність тяги РПК та бічної сили рушійного комплексу PN160-1 від обертів гребного гвинта при різних кутах набігання потоку.

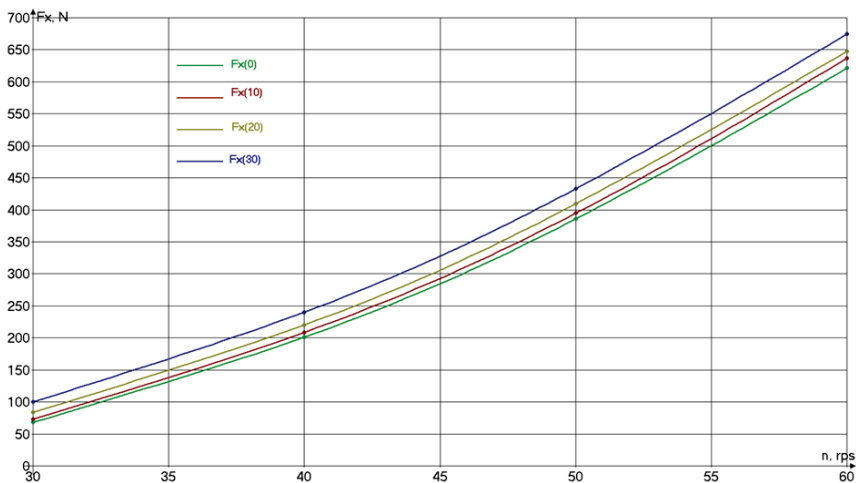


Рисунок 3 – Залежність $F_x(n, \delta^\circ)$ для PN160-1

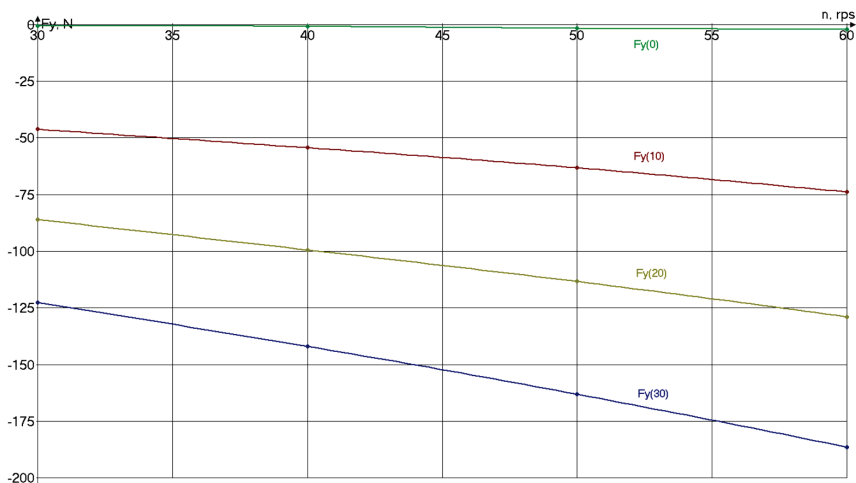


Рисунок 4 – Залежність $F_y(n, \delta^\circ)$ для PN160-1

За аналізом табличних даних, отриманих методом CFD моделювання, можна відзначити, що графіки тяги РПК у косому потоці води, отримані шляхом математичного моделювання руху АНПА, повністю відповідають залежностям, побудованим з використанням CFD-пакету.

Порівняльний аналіз результатів моделювання в табл. 3.

Таблиця 3 – Порівняльний аналіз результатів моделювання

	$F_x = T_x + R_x$, Н	F_x , Н
$\delta = 0^\circ$, $n = 30$ об/с	68.2	68.9
$\delta = 30^\circ$, $n = 30$ об/с	99.982	101.8
ΔF_x , Н; (%)	31.782 (46.6)	32.9 (47.7)
$\delta = 0^\circ$, $n = 60$ об/с	621.2	623.03
$\delta = 30^\circ$, $n = 60$ об/с	674.46	671.8
ΔF_x , Н; (%)	53.26 (8.5)	48.8 (7.8)

Таким чином, за умов косого потоку проекція сумарної сили на вісь гребного гвинта зростає, як і сам упор співвісний РПК [1].

Важливим контрольованим параметром при створенні САК є залежність потужності від кута набігання потоку на РПК, рис. 5.

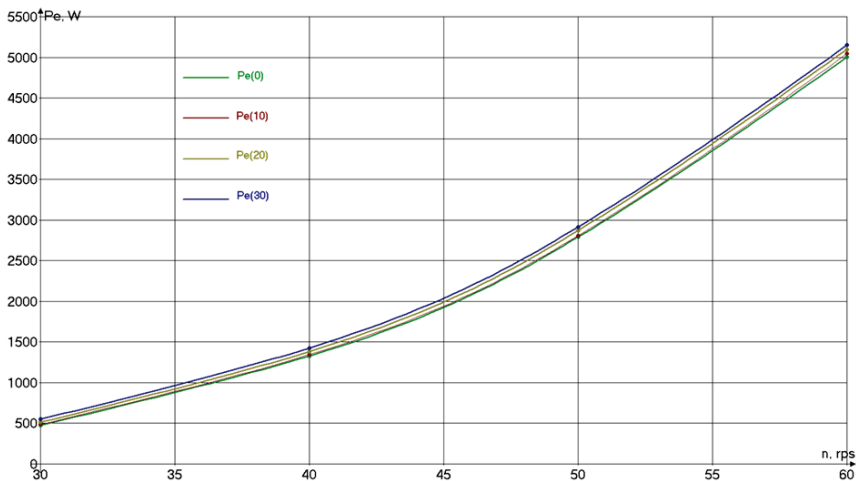


Рисунок 5 – Залежність $P_E(n, \alpha^\circ)$ для PN160-1

Робота РРК PN160-1 у косому потоці супроводжується виникненням помітних бічних сил, що призводить до зростання загальної тяги РРК але не призводить до істотної зміни необхідної потужності приводу.

В іншому експерименті проведено дослідження моделювання динаміки АНПА з гребним гвинтом в поворотній насадці [12].

Як відомо, [1] головною особливістю РРК гребний гвинт в поворотній насадці є залежність коефіцієнту упору комплексу від кута перекладки насадки δ .

В моделюванні застосовувалась насадка PN160-2, що відрізняється від PN160-1 внутрішнім розрахунковим діаметром – 170.0 мм, який необхідний для її перекладки. Гребний гвинт має ті самі геометричні характеристики.

На рис. 6 представлено дослідження впливу кута перекладки насадки $\delta = [0..30]^\circ$ на загальну тягу РРК при заданих обертах гребного гвинта.

З представлених графіків видно, що зі збільшенням кута перекладки насадки (рис. 6. а) момент на валу гребного гвинта зростає (рис. 6. б), тяга рушійного комплексу зменшується (рис. 6. в) і знижується швидкість руху підводного апарата (рис. 6. з).

За аналізом представлених результатів визначено, що при куті набігання потоку $\delta = 30^\circ$ та $n = 30$ об/с, зменшення тяги становить 58.3%, при куті $\delta = 30^\circ$ та $n = 60$ об/с – 43.4%.

Для дослідження описаної залежності проведено CFD моделювання роботи рушійно-рульового комплексу PN160-2 виробництва КНР із заданими кутами перекладки насадки.

3D модель РРК PN160-2 відрізняється від РРК PN160-1 відсутністю зв'язку між приводом та насадкою, а також збільшеним до 5 мм радіальним зазором між гребним гвинтом та напрямною насадкою, що дає можливість повертати насадку щодо осі Oz на кут δ .

Поворот насадки здійснюється засобами CAD SolidWorks, рис. 7.

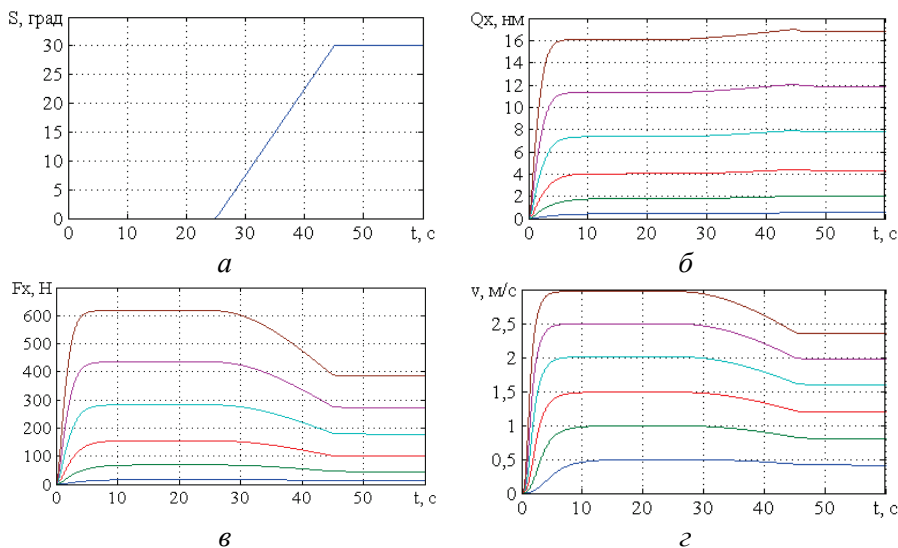


Рисунок 6 – Дослідження залежності тяги РРК

від кута перекладки насадки:

а – кут перекладки насадки; б – момент на валу ГГ;

в – тяга рушійного комплексу

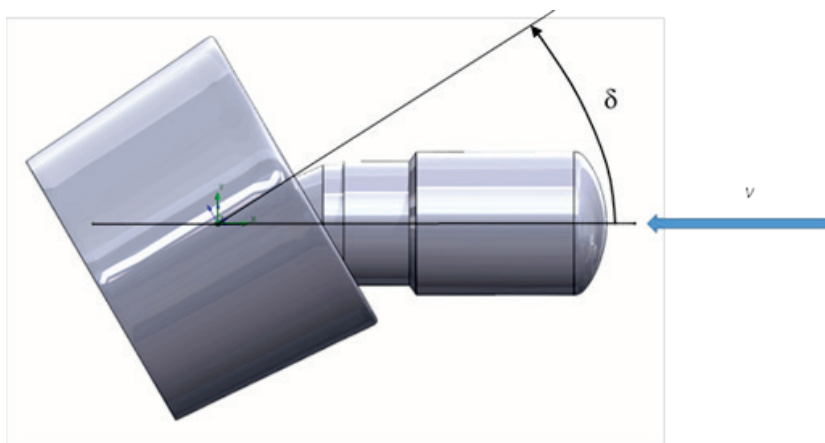


Рисунок 7 – 3D модель РРК PN160-2

Далі представлено результат CFD-моделювання роботи рушійно-рульового комплексу PN160-2 (виробництво КНР) із заданими кутами перекладки напрямної насадки.

В табл. 4 представлено вихідні дані для розрахунків, а в таблиці 5 – результати моделювання.

Таблиця 4 – Розрахункові варіанти рушійного комплексу PN160-2

№ варіанту	v , м/с	δ°	n , об/с
1-4	3.0	0	30-60
5-8	3.0	10	30-60
9-12	3.0	20	30-60
13-16	3.0	30	30-60

Таблиця 5 – Результати CFD-моделювання роботи рушійно-рульового комплексу PN 160-2 з заданими кутами перекладки насадки

№	T_x , Н	T_y , Н	Q_x , Нм	Q_z , Нм	R_x , Н	R_y , Н	M_z , Нм	T_{nx} , Н	T_{ny} , Н	M_{nz} , Нм
1	72.411	-0.040	-2.471	-0.019	-	0.046	0.003	19.955	-0.015	0.012
2	188.79	-0.265	-5.513	-0.016	-	0.004	-0.001	66.386	0.485	0.014
3	328.89	0.172	-9.265	-0.011	-	0.240	0.020	133.32	-2.035	-0.202
4	505.14	0.187	-	0.004	-	-0.205	-0.018	239.29	-1.560	-0.104
5	99.979	-0.322	-2.997	-0.029	-	-2.502	-0.168	-1.400	91.814	1.741
6	233.69	-0.429	-6.393	-0.051	-	-2.752	-0.131	30.939	103.78	0.965
7	398.51	-0.239	-	-0.045	-	-4.390	-0.243	81.461	146.81	0.139
8	606.20	-0.022	-	-0.062	-	-5.934	-0.344	161.03	190.56	-1.466
9	153.36	0.060	-4.018	0.037	-	-0.583	0.167	-	160.50	2.155
10	308.35	0.294	-7.766	0.142	-	-1.614	0.156	-	225.69	1.891
11	492.38	0.574	-	0.244	-	-5.332	-0.108	-	332.15	1.864
12	722.64	0.788	-	0.378	-	-9.737	-0.405	-	459.50	1.218
13	190.33	-0.161	-4.708	-0.002	-	-0.796	0.339	-	256.17	1.695
14	344.79	0.017	-8.357	0.036	-	-0.236	0.504	-	360.32	-0.038
15	518.46	0.532	-	0.103	-	-4.096	0.189	-	508.57	-1.168
16	720.16	0.939	-	0.206	-	-8.709	-0.114	-	674.67	-3.833

де: T_{nx} – упор насадки; T_{nx} – бічна сила на насадці; M_{nz} – реактивний момент на насадці (вісь Oz); $M_{cz} = Q_z + M_z + M_{nz}$ – сумарний реактивний момент РРК.

На графіках, рис. 8-9 представлена залежність упору та бічної сили, що виникає в результаті набігання потоку на відхилений профіль насадки від кута перекладки насадки δ° .

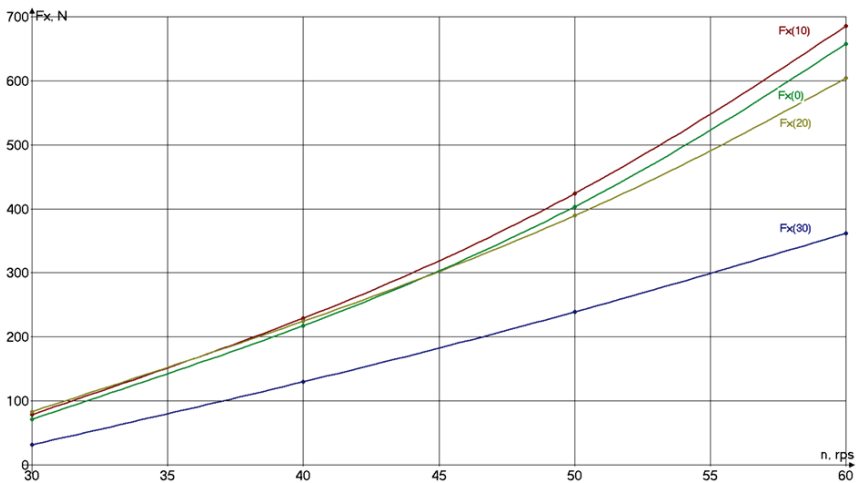


Рисунок 8 – Залежність $F_x(n, \delta^\circ)$ для PN160-2

У табл. 6 представлено порівняльний аналіз результатів моделювання роботи РРК з заданим кутом перекладки насадки.

На представлених графіках сумарна тяга РРК визначається: $F_x = T_x + R_x + T_{nx}$; сумарна бічна сила на РРК: $F_y = T_y + R_y + T_{ny}$; потужність необхідна для обертання гребного гвинта: $P_E = Q_x 2\rho n$.

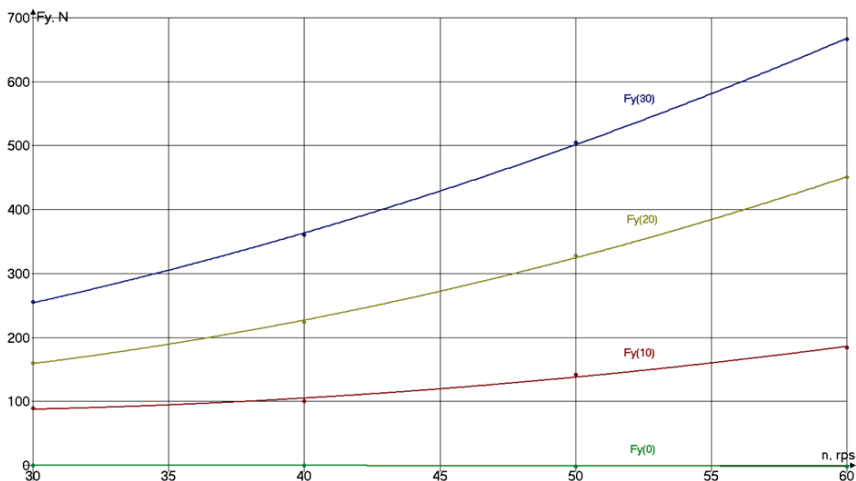


Рисунок 9 – Залежність $F_y(n, \delta^\circ)$ для PN160-2

Таблиця 6 – Порівняльний аналіз результатів моделювання

	$F_x = T_x + R_x + T_{nx}$, Н	F_x , Н
$\delta = 0^\circ$, $n = 30$ об/с	71.6	71.01
$\delta = 30^\circ$, $n = 30$ об/с	31.9	32.8
ΔF_x , Н; (%)	39.7 (55.4)	38.21 (53.8)
$\delta = 0^\circ$, $n = 60$ об/с	657.82	655.3
$\delta = 30^\circ$, $n = 60$ об/с	362.8	370.8
ΔF_x , Н; (%)	295.02 (44.8)	284.5 (43.4)

На рис. 10 представлено графіки потужності необхідної для обертання гребного гвинта від кута перекладки насадки.

Поворотна насадка є ефективним способом створення бічної сили, проте зі збільшенням кута перекладки насадки знижується тяга РРК і зростає потрібна потужність приводу.

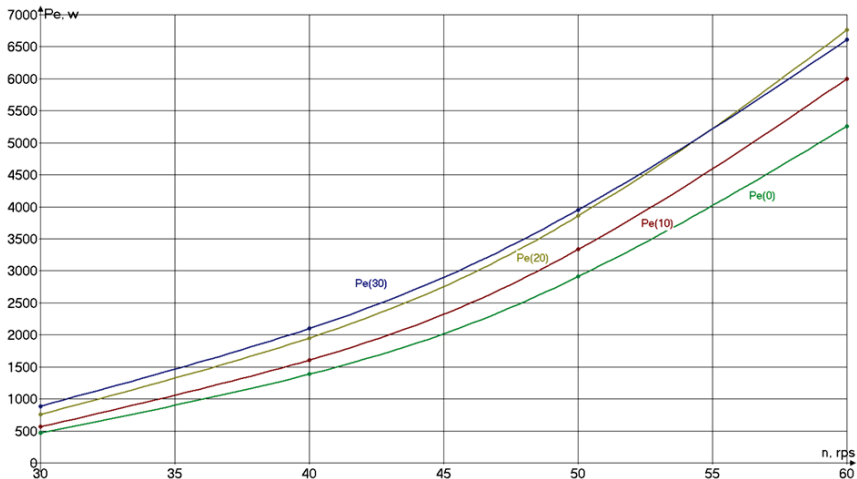


Рисунок 10 – Залежність $P_E(n, \delta^\circ)$ для PN160-2

Також, необхідно звернути увагу на складну гідромеханічну взаємодію системи «корпус – РРК». Двигун, що працює поблизу корпусу АНПА, суттєво змінює поле швидкостей потоків, що призводить до зміни гідродинамічних сил, які діють на корпус. У свою чергу, потік води, що набігає на гвинт, отримує збурення від корпусу АНПА.

Аналіз методів сучасного проектування гребних гвинтів у насадках та їх взаємодія з корпусом АНПА показує, що оцінку працездатності РРК АНПА можна успішно виконувати у CFD-комплексах. Результати досліджень представлені в [2], моделювання роботи гребного гвинта у насадці поблизу корпусу АНПА, виконаних у пакеті FlowSimulation при різних кутах натікання потоку, можна використовувати для створення математичної моделі керованого руху АНПА під дією РРК.

Висновки

1) Моделювання роботи рушійних комплексів засобами CFD-пакету підтвердило справедливості висновків, отриманих шляхом математичного моделювання з використанням математичної моделі АНПА та рушійних комплексів двох типів: гвинт в напрямній насадці у косому потоці та гвинт в поворотній насадці.

2) В результаті проведених досліджень встановлено що при роботі гребного гвинта в напрямній насадці загальна тяга РРК при куті відхилення потоку 30° зростає на 46 %, однак зі збільшенням частоти обертання гребного гвинта (з 30 до 60 об/с) різниця зменшується до 8 %.

3) При роботі гребного гвинта в поворотній насадці загальна тяга РРК при куті перекладки насадки 30° зменшується на 32 %, зі збільшенням частоти обертання гребного гвинта (з 30 до 60 об/с) різниця збільшується до 44 %.

4) Отримані в роботі залежності упору та моменту РРК будуть використані в системі автоматичного керування швидкістю руху автономного підводного апарату, для визначення закону впливу на частоту обертання гребного гвинта і стабілізації швидкості руху АНПА у косому потоці.

Список літератури:

1. Гофман, А. Д. (1988). *Движительно-рулевой комплекс и маневрирование судна*. Ленинград: Судостроение, 360 с.

2. Бражко А.С., Король Ю.М. *Исследование взаимодействия движителей с корпусом подводного аппарата при маневрировании*, Матеріали IV МНТК Інновації в суднобудуванні та океанотехніці, Миколаїв, НУК, 2013, с.402-405.

3. Блінцов, В. С., & Грудініна, Г. С. (2018). Особливості керування стабілізованим рухом АНПА в умовах дії зовнішніх збурень. *Інформаційні системи, механіка та керування*, КПП 1, 122-137. DOI: <http://dx.doi.org/10.20535/2219-3804192018169624>

4. Юдин, Ю. И. (2010). Математическое моделирование работы поворотной винтовой колонки бурового судна. *Вестник МГТУ*, том 13, №4/2. С.845-851.

5. Алоба, Л. Т., Блінцов, С. В., та Грудініна, Г. С. (2017). Математичне моделювання динаміки автономного ненаселеного підводного апарату на плоскій циркуляції. *Збірник наукових праць НУК*. 4. С. 53-60.

6. Король Ю.М., Бражко А.С. *Применение программного комплекса FlowVision к решению задач о работе гребных винтов в косом потоке*, Матеріали II МНТК Інновації в суднобудуванні та океанотехніці, Миколаїв, НУК, 2011, с.482-485.

7. Король Ю.М., Бражко А.С. *Методы вычислительной гидродинамики в проблемах проектирования телеуправляемых подводных аппаратов*, Материалы МНТК «Инженерные системы 2012», Москва, Тесис, 2012. С.12-18.
8. Юдин, Ю. И. (2010). Математическое моделирование работы поворотной винтовой колонки бурового судна при его произвольном движении. *Вестник МГТУ*, том 13, №4/2. С. 852-856.
9. Hrudinina, H. S. (2018). Mathematical modeling of an autonomous uninhabited underwater vehicle dynamics with propeller in the rotary nozzle. *Shipbuilding and Marine Infrastructure*, 2(10). С. 144-153. DOI 10.15589/SMI. <http://smi.nuos.mk.ua/-archive/2018/2/16.pdf>
10. Король Ю.М., Дудченко О.Н., Корнелюк О.Н. *Разработка и использование программного обеспечения для мульти параметрической генерации 3D моделей гребных винтов*, МНТК Инновации в судостроении и океанотехнике, НУК, Николаев, 2018, с.296-298.
11. Yuriy Korol, Computational Fluid Dynamics Methods for Designing the Propeller-Steering Complex of Submarine, *Modern Environmental Science and Engineering* (ISSN 2333-2581) March 2021, Volume 7, No. 3, pp. 223-231 Doi: 10.15341/mese(2333-2581)/03.07.2021/005 Academic Star Publishing Company, 2021 www.academicstar.us
12. V. Blintsov, H. Hrudinina. (2019). Mathematical modeling of autonomous underwater vehicle propulsion and steering complex operation in oblique (beveled) water flow. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4/9 (100), 10-28.

УДК 681.5

**НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ ВИКЛАДАННЯ
ДИСЦИПЛІН ОСВІТНЬОЇ ПРОГРАМИ «SEA ROBOTICS»
ДЛЯ ІНОЗЕМНИХ СТУДЕНТІВ**

Автор: Буруніна Ж.Ю., к.т.н, доцент, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова (НУК) є провідним науково-освітнім закладом України, у якому більше 30 років активно виконуються наукові дослідження за напрямком «Підводна техніка». Одночасно результати наукових дослі-

днів впроваджуються у навчальний процес шляхом підготовки магістрів та кандидатів технічних наук за вказаною тематикою.

Останніми роками навчальна складова наукового напрямку «Підводна техніка» отримала подальшу затребуваність з боку китайських вишів. Зокрема, успішно ведеться підготовка бакалаврів і магістрів за програмою “Sea Robotics”.

Міжнародний статус вказаної програми вимагає від викладачів неухильно вдосконалювати форми і методи навчання, максимально наближати його організацію до сучасних вимог дати кожному студенту якісну й ефективну освіту. Пріоритетними напрямками такого вдосконалення є особистісна орієнтація викладача, постійне підвищення якості науково-методичного матеріалу, оновлення його змісту і форм, запровадження освітніх інноваційних технологій.

Мета роботи – на основі узагальнення практичного досвіду викладання дисциплін програми “Sea Robotics” запропонувати рекомендації щодо удосконалення змістовної частини підготовки навчального процесу.

Викладення основних результатів.

Практичний досвід автора у викладанні навчальних дисциплін іноземним студентам свідчить, що процес навчання ускладнюється наступними факторами:

- недостатнім досвідом викладачів у підготовці та викладанні навчальних дисциплін іноземним студентам англійською мовою;
- недостатньо повним володінням багатьма студентами англійською мовою у частині спеціальної термінології, що породжує нерівномірність засвоєння навчального матеріалу;
- слабким забезпеченням англійською мовою навчально-методичною літературою за дисциплінами базової підготовки та за вибірковими дисциплінами, що знижує ефективність домашньої (самостійної) роботи студентів;
- недостатнім впровадженням у навчальний процес сучасних інформаційних технологій, зокрема, недостатнім використанням сучасних аудіо- та відеозасобів при проведенні лекцій;
- вкрай недостатнім забезпеченням практичних занять і лабораторних робіт сучасним лабораторним обладнанням;

- відсутністю баз для проведення навчальних практик студентів, які б мали сучасне робототехнічне обладнання морського спрямування, що утворює небажаний розрив між теоретичним навчанням і практичними навичками студентів, які опановують навчальну програму “Sea Robotics”.

Очевидно, що одночасно ліквідувати вказані недоліки навчального процесу неможливо. Тому у якості першого кроку вдосконалення навчального процесу розглянемо питання підвищення якості підготовки викладання іноземним студентам спеціальних дисциплін англійською мовою.

Удосконалення якості такої підготовки викладача вбачається за трьома напрямками:

- навчальний, метою якого є завдання домогтись міцного засвоєння теоретичних знань та формування практичних навичок проектування засобів морської робототехніки, які найчастіше застосовуються на практиці;

- розвиваючий, метою якого є розвивати індивідуальні інтелектуальні здібності студентів, пам’ять, увагу, англійське спілкування, творчість та самостійність майбутніх фахівців;

- інтернаціональний, метою якого є сприяти формуванню наукового світогляду, поваги до світових та українських здобутків за напрямком “Sea Robotics”.

Для успішної реалізації названих цілей сучасна технологія навчання має передбачати виконання таких кроків:

- формування модульного плану викладання дисципліни;
- формування програми самостійної роботи студента, що включає перелік матеріалів, способи та план виконання;
- формування програми контролю за результатами навчання (поточний, проміжний, підсумковий).

Протягом аудиторних занять типовою може бути класична методика, коли на початку заняття викладач проводить опитування і тестовий контроль попередньо вивченого матеріалу, потім розглядається й обговорюється поточна тема, а наприкінці видаються завдання на наступне заняття.

Досвід авторки свідчить, що наведений перелік заходів класичної методики доцільно доповнити підготовкою та наданням студентам глосарію англомовних термінів, які будуть використовуватись викладачем під час лекцій та практичних занять.

Розглянемо особливості проведення занять з іноземними студентами, які, на думку авторки, позитивно впливають на сприйняття і засвоєння навчального матеріалу.

Попередній досвід викладання технічних дисциплін свідчить, що для результативного навчання студентів-іноземців особливе значення має доброзичливо-вимогливий стиль викладання лекційного матеріалу. Більшість іноземних студентів мають активну позицію, спілкуються і беруть участь у дискусіях на заняттях.

Ефективною формою практичних занять є співпраця між студентом і викладачем, яка передбачає активну участь викладача у розв'язанні навчальних завдань. Власний приклад викладача, логіка застосовуваних ним методів сприяє більш повному осмисленню студентами практичної значимості дисципліни, яка вивчається.

На практичних заняттях також здійснюється поточний контроль знань студентів.

Одним із важливих завдань викладача є організація та контроль самостійної роботи студентів, посилення її ролі, упровадження активних методів і сучасних інформаційних технологій навчання. Для досягнення позитивного ефекту в підготовці фахівців за напрямом “Sea Robotics”, у першу чергу, необхідно формувати змістові модулі, що є частинами модуля, за системним принципом.

Самостійна робота студентів має здійснюватись під керівництвом викладача в різних взаємопов'язаних формах. Зазвичай, студентам пропонується систематичне опрацювання навчального матеріалу під час підготовки до практичних занять протягом семестру. На необхідності цього наголошується вже на першій лекції, а реалізація починається з першого лекційного заняття.

Висновки. Навчання іноземного студента – це процес, який потребує постійної індивідуальної повсякденної роботи викладача з кожним студентом. Для поліпшення навчання іноземних громадян має велике значення зменшення мовного бар'єра.

Застосування активних методів навчання, зокрема сучасних інформаційних технологій проведення лекцій та практичних занять у поєднанні з поточним контролем знань у письмовій та усній формах,

сприятиме ґрунтовному засвоєнню теорії та здобуттю практичних навичок проектування засобів морської робототехніки.

УДК 681.5

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ПРОЄКТУВАННЯ НЕНАСЕЛЕНИХ БУКСИРУВАНИХ ПІДВОДНИХ АПАРАТІВ

*Автор: Куценко П.С., к.т.н, молодший науковий співробітник,
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна*

Вступ. Буксирувані підводні системи (БПС) відносяться до традиційних технічних засобів вивчення водного середовища та виконання широкого спектру робіт пошукового, природоохоронного та промислового призначення [1]. Необхідність створення БПС різного призначення для України обумовлена, у першу чергу, великими обсягами робіт у територіальному морі держави, які мають глибини до 100 метрів.

Метою роботи є удосконалення методики проектування БПС на основі застосування технології інформаційного моделювання та системного підходу.

Викладення основного матеріалу.

Аналіз розвитку інших галузей промисловості (будівельної, авіаційної тощо), а також досвід автора у проектуванні, будівництві та експлуатації ЗМР дає змогу виділити етап інформаційного моделювання як один з основних етапів, який слідує за традиційними етапами ручного, двовимірного та тривимірного проектування та етапу застосування системи комп'ютерної підтримки інженерних розрахунків (в англomовній літературі – Computer-Aided Engineering, CAE). Такі системи призначені для розв'язку інженерних завдань, наприклад для розрахунків конструктивної міцності, оцінки сил гідродинамічної природи, розрахунків елементів, вузлів і систем БПС. За результатами виконання етапу інформаційного моделювання проєктант отримує повну та всебічну інформацію про майбутній об'єкт проектування.

Етап інформаційного моделювання (ІМ, в англomовній літературі – Information Modeling) БПС охоплює процеси створення та використання скоординованих між собою структурованих інформаційних моделей, які описують технічні та експлуатаційні характеристики об'єкта проєк-

тування та об'єктно-орієнтовані тривимірні геометричні характеристики його складових, що створюються різними учасниками протягом життєвого циклу об'єкта проектування в рамках технології тривимірного проектування (Common Desktop Environment, CDE). Відмінною особливістю етапу ІМ є широке використання методів комп'ютерного моделювання (в англomовній літературі – computer simulations, CS) для дослідження режимів роботи майбутньої БПС в усталених та динамічних режимах та використання отриманих даних у проектних рішеннях – від розробки спеціалізованих моделюючих комплексів (СМК) [2, 3] і до використання програм обчислювальної гідродинаміки (в англomовній літературі – computational fluid dynamics, CFD [4]). Результатом інформаційного моделювання є нові знання про властивості створюваної БПС, які дають змогу уточнити експлуатаційні характеристики БПС вже на ранніх стадіях її проектування.

Етап інформаційного моделювання суттєво впливає на подальшу ефективність майбутньої БПС, оскільки саме тут вже на ранніх стадіях проектування визначаються її основні проектні параметри та експлуатаційні характеристики. Зазвичай, на цьому етапі проводяться прикладні наукові дослідження для попередньої оцінки властивостей БПС в основних режимах роботи (квазістаціонарних та у перехідних режимах), виконується попередня перевірка гідродинамічних характеристик БПА тощо.

Виходячи з практики автора у проектуванні БПС, запропоновано розв'язувати наступні першочергові задачі для створення технології інформаційного моделювання TD_{IM} :

- розробка 3D-моделей IM_{3D} складових БПС (у першу чергу – розробка конструкції БПА як найбільш складного об'єкту проектування); у якості інструментальних засобів тут доцільно використовувати прикладні пакети дво- і тривимірної інтерактивної системи автоматизованого проектування (CAD-пакети програм AutoCAD та/чи КОМПАС-3D);

- створення інформаційних (математичних) моделей $IM_{БПС}$ складових БПС (у першу чергу – БПА, КБ) як твердих і гнучких тіл у потоці води, які мають силову взаємодію між собою – для комп'ютерного дослідження усталених і динамічних режимів роботи БПС; інструментальним засобом тут доцільно використовувати пакет

прикладних програм для розв'язку задач інженерних розрахунків Matlab або створювати спеціалізовані моделюючі комплекси для проведення масових багатоваріантних розрахунків;

- створення інформаційних (математичних) моделей IM_{CAK} систем автоматичного керування складовими БПС в основних робочих та аварійних режимах – для перевірки керованості БПС та якості виконуваної підводної роботи [5]; у якості інструментальних засобів тут також доцільно використовувати пакети програм Matlab та спеціальні моделюючі комплекси;

- розробка 3D-моделей БПА IM_{CFD} для дослідження їх гідродинамічних характеристик; у якості інструментального засобу тут доцільно використовувати пакет прикладних програм FlowVision CFD, який призначений для розв'язку тривимірних стаціонарних і нестаціонарних рівнянь динаміки рідини і газу [6].

Таким чином, основні задачі створення технології інформаційного моделювання TD_{IM} можна представити наступною множиною математичних моделей IM :

$$IM = \{IM_{3D}; IM_{БПС}; IM_{CAK}; IM_{CFD}\}. \quad (1)$$

Практична реалізація етапу інформаційного моделювання на ранніх стадіях проектування суттєво впливає на продуктивність і якість подальших проектних робіт та відкриває широкі можливості для зниження витрат ресурсів на конструювання та виготовлення як елементів БПС, так і на його будівництво.

Узагальнена структура БПС як об'єкту інформаційного моделювання на ранніх стадіях проектування показана на рис. 1.

Особливості реалізації технології інформаційного моделювання TD_{IM} розглянуто на прикладі інформаційного моделювання БПА як найбільш наукоємної складової створюваної системи. Основні групи елементів БПС сформуємо, виходячи з принципів системного підходу [7].

На рис. 1 затемненням виділено БПА та основні його елементи:

- конструктивні елементи – легкий корпус (ЛК), функції якого виконує гідродинамічний обтічник БПА; міцні корпуси електрообладнання (МК); несуча рама (НР) як силовий конструктив БПА;

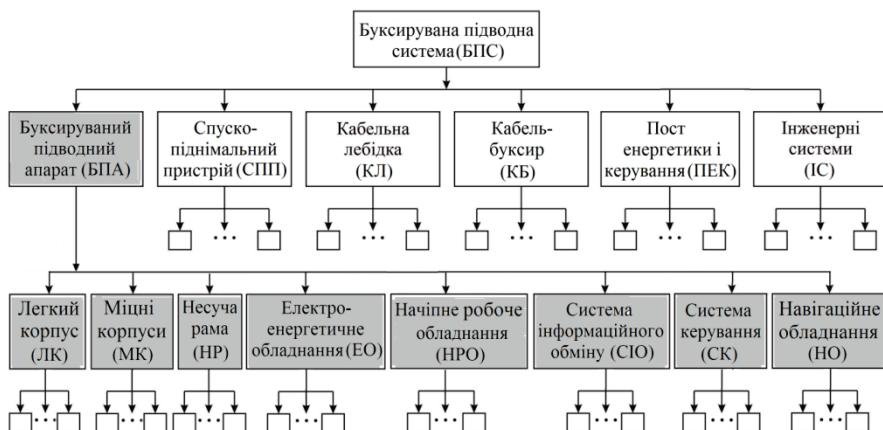


Рисунок 1. Узагальнена структура буксированої підводної системи як об'єкту інформаційного моделювання на ранніх стадіях проектування

- енергетичні елементи – електроенергетичне обладнання (ЕО), до якого входять система електроживлення БПА, електроприводи повороту рулів БПА, підводні світильники тощо; начіпне робоче обладнання БПА (НРО), до якого входять пошукові відео- та гідроакустичні прилади, пробовідбірники води, сенсори гідрофізичних та гідрохімічних приладів тощо.

- інформаційні елементи – система інформаційного обміну (СІО), яка забезпечує двосторонній зв'язок ПЕК з БПА; система керування (СК), яка забезпечує ручне, автоматизоване чи автоматичне керування просторовим рухом БПА та керує його начіпним робочим обладнанням; навігаційне обладнання (НО), яке включає сенсори просторового положення БПА та сенсори його лінійних і кутових швидкостей і прискорень.

У доповіді на прикладі буксированого підводного апарату (БПА) розглянуто особливості застосування технології інформаційного моделювання БПС. Зокрема, наведено приклад створення інформаційної моделі БПА $IM_{БПС-БПА}$ як твердого тіла у потоці води та створення інформаційної моделі системи автоматичного керування (САК) БПА $IM_{САК-БПА}$.

Висновки.

1. Теоретично обґрунтовано доцільність розвитку технологій проектування буксированих підводних систем шляхом уведення у проектну практику технології інформаційного моделювання основних установлених та перехідних режимів БПС на основі системного підходу.

2. Уведення у процес проектування БПС етапу інформаційного моделювання суттєво підвищує достовірність проектних рішень вже на ранніх стадіях розробки БПС, а використання принципів системного підходу спрощує формування складових БПС як елементів інформаційної моделі.

Список літератури:

1. Towed Vehicles. the Woods Hole Oceanographic Institution. <https://www.whoi.edu/what-we-do/explore/underwater-vehicles/towed-vehicles/>

2. Блінцов В.С, Буруніна Ж.Ю., Нгуен Тьєн Лонг (2005). Програмно-технічний комплекс для морських дослідницьких випробувань одноланкових підводних буксированих систем. Збірник наукових праць НУК. Миколаїв: НУК. № 3. С. 30-38.

3. Блинцов А. В., Бурунина Ж.Ю., Клименко П.Г., Чан Т.Д. (2012) Специализированный моделирующий комплекс для исследования эффективности системы управления подводной буксируемой системой [Текст]. Збірник наукових праць НУК. Миколаїв: НУК. №1. С. 92-97.

4. David C. Wilcox (2006) Turbulence Modeling for CFD. D C W Industries; 3rd edition. 522 pages.

5. Blintsov Oleksandr, Sokolov Volodymyr, Kucenko Pavel (2019) Formulation of Design Tasks of Towed Underwater Vehicles Creation for Shallow Water and Automation of their Motion Control. EUREKA: Physics and Engineering. Number 2. Pages 30-42. DOI: 10.21303/2461-4262.2019.00854

6. Станков Б.Н., Печенюк А.В. (2015) Цифровые технологии в проектировании судов: использование комплекса FlowVision. «САПР и графика». №3. С. 78-82. URL: <http://www.digitalmarine.net/builder/SAPR.pdf>

7. Blintsov V.S., Klochkov O.P. Generalized method of designing unmanned remotely operated complexes based on the system approach. Scientific journal «EUREKA: Physics and Engineering». 2019. Vol. 2 (21). P. 43-51

УДК 681.5

НАУКОВІ АСПЕКТИ КЛАСИФІКАЦІЇ ЗАСОБІВ МОРСЬКОЇ РОБОТОТЕХНІКИ ЯК ТЕОРЕТИЧНА ОСНОВА ЇХ ПРОЕКТУВАННЯ

*Автор: Надточий А.В., к.т.н, доцент, Херсонська філія
Національного університету кораблебудування імені адмірала
Макарова, м. Херсон, Україна*

Вступ.

До засобів морської робототехніки (ЗМР) відносяться ненаселені (безекіпажні) технічні засоби, призначені для роботи у наступних морських умовах:

- на морській поверхні – безекіпажні надводні судна (БНС, в англomовній літературі – Unmanned Surface Vessels, USV) [1];
- у водній товщі чи на морському дні – ненаселені підводні апарати (НПА, в англomовній літературі – Underwater Robotics, UR) [2];
- у повітряному просторі над морською поверхнею – безпілотні літальні апарати (БЛА, в англomовній літературі – Unmanned Aerial Vehicles, UAV) морського базування чи морського застосування [3].

Окремий вид ЗМР утворюють багатосередовищні ЗМР, які здатні функціонувати у двох чи у трьох середовищах. Такі ЗМР на цей час розробляються лише в експериментальних зразках [4].

Розробка класифікаційних ознак цих видів ЗМР як об'єктів автоматичного керування є актуальною прикладною науковою задачею, оскільки дає можливість структурувати роботи зі створення систем їх автоматичного керування і, тим самим, зменшити витрати фінансових, людських, часових та інших ресурсів, які необхідні для створення нової техніки.

Викладення основного матеріалу.

Розглянемо особливості класифікації ЗМР на прикладі створення нових зразків НПА.

За призначенням вказаний вид ЗМР, незалежно від робочого середовища, виходячи з принципів системного підходу [5], може виконувати наступні основні типи підводних місій M_U :

- виконання підводних робіт M_{UE} сило-енергетичного характеру, які пов'язані з перетворенням енергії (доставка або передача енергії M_{UE-DT} , просторовий рух ЗМР M_{UE-SM} , виконання підводно-технічних робіт M_{UE-J} із застосуванням підводного інструменту – маніпуляторів, різаків, розмивачів ґрунту тощо);

- виконання підводних робіт M_{UI} інформаційного характеру, які пов'язані зі збором, передачею і використанням інформації про характеристики робочого середовища, у якому працює ЗМР (вимірювання гідрофізичних та гідохімічних характеристик водного середовища та ґрунту M_{UI-D} , збір, передача і використання гідроакустичної, магнітометричної, радіаційної інформації про підводне середовище M_{UI-CTU} та ін.);

- виконання підводних робіт M_{UT} , пов'язаних з транспортуванням матеріальних об'єктів різних видів під водою (у якості корисних вантажів можуть виступати будівельні матеріали та елементи підводних конструкцій, вимірювальні та навігаційні прилади для встановлення на морське дно, артефакти тощо); відповідно, вказані роботи зручно позначити як M_{UT-B} , M_{UT-D} та M_{UT-A} .

Тоді за призначенням для НПА можна представити наступною генеральною множиною підводних місій:

$$M_U = \{M_{UE}; M_{UI}; M_{UT}\}. \quad (1)$$

У свою чергу, кожна підводна місія генеральної множини (1) може бути представлена відповідною множиною:

$$M_{UE} = \{M_{UE-DT}; M_{UE-SM}; M_{UE-J}\}; \quad (2)$$

$$M_{UI} = \{M_{UI-D}; M_{UI-CTU}\}; \quad (3)$$

$$M_{UT} = \{M_{UT-B}; M_{UT-D}; M_{UT-A}\}. \quad (4)$$

Схожі за змістом місії притаманні й іншим видам ЗМР – БНС (генеральна множина надводних місій M_V) та БЛА (генеральна множина повітряних місій M_A).

Застосування за призначенням всіх без виключення ЗМР має забезпечувати досягнення основної мети морської місії – її виконання із заданими показниками ефективності. Тільки тоді створюваний ЗМР буде конкурентоздатним на внутрішньому і зовнішньому ринках робототехніки.

Одну з ключових ролей при цьому мають системи автоматичного керування (САК) ЗМР, оскільки вони визначають основний показник ефективності ЗМР – їхню продуктивність і якість виконання роботи-зованої підводної, надводної та повітряної місії.

З позицій системного підходу ЗМР як об'єкт автоматичного керування доцільно розглядати як технічний засіб, призначений для виконання робіт за призначенням, які структурно можна описати наступною підпорядкованою послідовністю робіт: «Місія M – Технологія T – Режими функціонування R – Експлуатаційні властивості PP ».

Розглянемо змістовну частину зазначених робіт, яка має сформулювати основні вимоги до САК ЗМР (на прикладі НПА).

Місія M – це множина завдань, які спроможний виконати конкретний ЗМР в автоматичному режимі і які визначають актуальність його створення і застосування. Наприклад, для НПА генеральна множина M_U основних типів підводних місій має вид (2)-(4).

Технологія T – це послідовність дій ЗМР, реалізація яких забезпечить успішне виконання конкретної місії M (одного елемента з множин (2)-(4)). Наприклад, для НПА місії M_{UI} виконання підводних робіт інформаційного характеру можуть містити наступні технології:

- технології T_{UI-D} вимірювання гідрофізичних та гідрохімічних характеристик водного середовища та ґрунту у вигляді оперативного приладового вимірювання характеристик морської води T_{UI-D-M} та технології дистанційного відбору проб води і ґрунту для подальшого лабораторного аналізу T_{UI-D-S} ;

- технології збору інформації про підводне середовище T_{UI-CTU} у вигляді оперативного вивчення підводної обстановки $T_{UI-CTU-SI}$ та складання електронної карти морського дна $T_{UI-CTU-BM}$ та ін.

Наведену множину технологій T_{UI} для місії M_{UI} можна представити у вигляді:

$$T_{UI} = \{T_{UI-D}; T_{UI-CTU}\}. \quad (5)$$

У загальному випадку потужність множини технологій T_{UI} для місії M_{UI} може бути значно більшою, тому позначимо її змінною J .

Режими функціонування R – це множина основних та допоміжних операцій, які необхідно виконати в автоматичному режимі для успішної реалізації конкретної технології.

Наприклад, для НПА, який реалізує підводну технологію T_{UI-CTU} , множина режимів роботи R_{UI-CTU} має містити наступні режими:

$R_{UI-CTU-c}$ – перевірка працездатності НПА на палубі судна-носія перед спуском на воду;

$R_{UI-CTU-d}$ – спуск НПА на воду та його занурення на задану глибину по заданій траєкторії;

$R_{UI-CTU-lm}$ – лінійний рух зі стабілізацією параметрів руху (глибини, висоти над ґрунтом, швидкості, курсу та траєкторії);

$R_{UI-CTU-sm}$ – просторовий рух по заданій траєкторії;

$R_{UI-CTU-ss}$ – стабілізація НПА у просторі (режим позиціонування у точці);

$R_{UI-CTU-a}$ – повернення НПА до судна-носія і підйом на борт.

У загальному випадку множину R_{Ui} режимів функціонування НПА для i -ї підводної місії $M_{Ui} \in M_{UI}$ можна представити у вигляді:

$$R_{Ui} = \{R_{Ui-T_{ij1}}; \dots R_{Ui-T_{ijk}}; \dots R_{Ui-T_{ijK}}\}, \quad (6)$$

де: T_{ij} – індекс, який відноситься до j -ї підводної технології, що планується для застосування при виконанні i -ї підводної місії ($M_{Ui} \in M_{UI}$);

$j=(1, \dots J)$ – індекс, який відноситься до j -ї підводної технології;

$k=(1 \dots K)$ – індекс, який відноситься до k -го режиму функціонування НПА при реалізації j -ї підводної технології.

Експлуатаційні властивості PP – це перелік його спроможностей для виконання відповідних підводних місій. При незмінних конструктивних та енергетичних характеристиках НПА вказані властивості визначаються рівнем автоматизації підводного робота.

Наприклад, при виконання підводних робіт M_{UI} інформаційного характеру до основних характеристик НПА слід віднести:

- рівень автоматизації PP_{UI-A} режимів роботи НПА для ефективного керування його стабілізованим рухом та динамічними режимами в умовах невизначеності параметрів зовнішніх збурень та нестационарності власних параметрів як об'єкту керування;

- характеристики PP_{UI-S} пошукового гідроакустичного та/чи магнітометричного обладнання, яке повинне мати високі характеристики для надійного виявлення і виокремлення підводних об'єктів;

- розвинене спеціальне програмне забезпечення PP_{UI-H} для генерування цифрових карт і баз даних підводних об'єктів, що необхідно для оперативного формування й оновлення інформації про підводну обстановку й автоматичну ідентифікацію виявлених об'єктів.

Наприклад, множину основних експлуатаційних властивостей НПА для технології збору інформації про підводне середовище T_{UI-CTU} можна представити у складі наступних елементів:

$$PP_{UI-CTU} = \{PP_{UI-CTU-A}; PP_{UI-CTU-S}; PP_{UI-CTU-H}\}. \quad (7)$$

Попередній аналіз відношень (1)-(7) та досвід їх використання у практичній діяльності науково-дослідного інституту підводної техніки НУК показує, що на їх основі може бути розроблена науково обґрунтована методологія проектування САК ЗМР на ранніх стадіях їх створення (етапи дослідницького та ескізного проектування).

Слід зазначити, що отримані узагальнені відношення (1)-(7) можуть бути корисними при розробці САК ЗМР для наступних об'єктів автоматизації:

- автоматичне керування групою ЗМР
- автоматичне керування одиночним ЗМР
- автоматичне керування окремими виконавчими механізмами ЗМР.

Висновок.

Запропонована підпорядкована послідовність робіт «Місія M – Технологія T – Режими функціонування R – Експлуатаційні властивості PP », яка ґрунтується на системному підході до класифікації ЗМР, може слугувати науковою основою для проектування ЗМР, конкурентоздатних на ринках морської робототехніки.

Список літератури:

1. G.N. Roberts, R. Sutton. Advances in Unmanned Marine Vehicles (Control, Robotics and Sensors). The Institution of Engineering and Technology (January 31, 2006). 464 pages.
2. Управління успішними проектами створення складної техніки : Монографія / Г. В. Бабкін, В. С. Блінцов, Є. А. Дружинін, С. Г. Кійко, Н. Р. Книрик, К. В. Кошкін, Д. М. Крицький, С. С. Рижков, С. О. Слободян, Т. А. Фаріонова. – Миколаїв : Видавництво Торубари В. В., 2017. – 336 с.

3. Unmanned aerial vehicles. Perspectives. Management. Power supply : Multi-authored monograph / V. V. Holovenskiy, T. F. Shmelova, Y. M. Shmelev and oth.; Science Editor DSc. (Engineering), T. F. Shmelova. – Warsaw, 2019. – 100 p.

4. Двухсредные летательные аппараты.
<https://timestudent.ru/russia/prog-vuz/dvuxsrednye-letatelnye-apparaty>

5. Volodymyr Blintsov, Olexandr Klochkov. Generalized Method of Designing Unmanned Remotely Operated Complexes Based on the System Approach – «EUREKA: Physics and Engineering», 2019. – Number 2. – Pages 43-51. DOI: 10.21303 / 2461-4262.2019.00878

УДК 681.51

ПОБУДОВА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ДОСЛІДНОЇ МОДЕЛІ ПІДВОДНОГО АПАРАТА З ГІДРОБІОНИЧНИМ РУШІЄМ

***Автор:** Ольшевський С.І., ст.викладач, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна*

Анотація

Показана система електроживлення моделі як одна з важливих складових. Перелічені труднощі, пов'язані із одночасною передачею достатньої потужності та збереження рухомості та надійності передачі інформації по одному кабелю. Наведено приклад побудови системи енергоживлення для дослідної моделі.

Ключові слова: модель, гідро біонічний рушій, електроживлення, двигун.

Abstract.

The power supply system of the model is shown as one of the important components. Listed are the difficulties associated with the simultaneous transmission of sufficient power and maintaining the mobility and reliability of information transmission over a single cable. An example of building a power supply system for an experimental model is given.

Key words: model, hydrobionic engine, power supply, engine.

Вступ.

Проектування ефективних прив'язних і автономних підводних систем включає в себе дослідження й проектні роботи з декількох напрямків – механіка, гідродинаміка, керування й енергетика. Система

керування рухом повинна враховувати вплив навколишнього середовища й, наскільки це можливо, передбачати реакцію підводної системи на зміну впливів, що керують або збурюють.

Використання рушіїв гідробіонічного типу є перспективним з огляду на їх ефективність, особливо у порівнянні із традиційними рушійми на основі використання гвинтів (як прямої дії так і у складі водометних пристроїв). З одного боку гідробіонти привносять мінімум шуму та збурень при своєму переміщенні у товщі води та особливо у придонному шарі. З іншого боку, широко відомий так званий «парадокс Грея» [1, с.198] – якщо опір твердої моделі, що буксирується з тією ж швидкістю, відповідають опору тіла дельфіна, то його м'язи повинні бути як мінімум у сім разів потужнішими.

В товщі води мешкають два типи організмів – планктон та нектон. Планктон – як фітопланктон так і зоопланктон – складається з дрібних організмів, що не спроможні контролювати своє положення у воді та керувати ним. Нектон складається з активних плавців – риб, амфібій, рептилій звірів, великих комах і їхніх личинок (у прісних водах) та головоногих молюсків (у морської воді) [2, с. 48].

Стосовно до підводних апаратів з гідробіонічними рушійми найбільший інтерес мають гідробіонти, що входять до групи нектонів.

При цьому можна умовно поділити усі способи створення руху на [3, с. 79]:

- реактивний за рахунок викидання струменя води (наприклад медузи, кальмари);
- хвилеподібний (тварини та риби).

Неавтономні ПА (або дистанційно-керовані ПА, Remote Operated Vehicle – ROV) – телекеровані ПА – принципово мають кабельний канал для енергоживлення та керування [4, с. 19].

Дослідна модель.

Для відпрацювання теоретичних положень та перевірки результатів математичного моделювання була створена дослідна модель [5, с. 211]. На її базі будувалася система руху на базі гідробіонічного рушія плавникового типу.

Для подачі напругі живлення та сигналів керування використовуються чотирьох жильний кабель. Довжина кабелю залежить від умов проведення досліджень і може складатися від 5 метрів для швартовних досліджень до 10-20 метрів для перевірки та відпрацювання траєкторних рухів. Потужність при виконанні рухів у різних режимах роботи рушія змінюється (відповідно розрахункам) від 10 до 100 Вт. Це відповідає зміні струму на вході блоку живлення від 0,8 до 8 А. Поточний опір кабелю складає від 0,005 Ом/м, для перетину жили 4,0 мм², до 0,15 Ом/м, для перетину жили 0,5 мм² (дані із вимірювань для сигнальних кабелів LAPP ÖLFLEX® CLASSIC 100 300/500V).

Таким чином маємо протиріччя – для зменшення впливу кабелю на показники рухомості моделі необхідно зменшувати його діаметр, а в свою чергу зменшення діаметру кабелю призводить до зменшення перетину його жил і збільшенню їх опору.

Пропонується використовувати підвищену напругу живлення для зменшення струму у жилах і, відповідно, зменшення втрат напруги на них. Для зменшення впливу на інформаційні сигнали живлення робимо постійним струмом зі стабілізацією напруги (19 В в нашому випадку). На борту моделі використовуємо понижуючий DC/DC перетворювач (вихідна напруга – 12 В). Останній забезпечує стабільне живлення силових та керуючих частин системи керування рушієм плавникового типу.

Висновки.

При подальшому удосконаленні моделі можливо використання більшої напруги живлення з одночасним використанням спеціального сигнального кабелю, що розрахований на більші напруги. Це дозволить зменшити діаметр кабелю, підвищити його гнучкість. Тим самим зменшиться вплив кабелю на показники руху моделі.

Список літератури:

1. J. Gray. The propulsive powers of the dolphin. Journal of Experimental Biology, pages 192–199, August 1935.
2. Е.А. Зилов. Гидробиология и водная экология. Учебное пособие. – Иркутск: Иркут. ун-т, 2007. – 118 с.
3. Слижевский Н.Б. Гидробионика в судостроении: Учебн. пособие. – Николаев: УГМТУ, 2002. – 112 с.
4. Блинцов В.С., Щепелев С.В., Ольшевский С.И. Исследование влияния параметров кабель-троса двухзвенной подводной системы

для случая "обратной буксировки". Морские технологии: Сб. науч. тр. НКИ – Николаев: НКИ, 1993. – с. 19-24.

5. Блинцов, В.С., Ольшевский, С.И.. Моделирование гидробионического движителя плавникового типа для задач синтеза систем управления. Науковий вісник Херсонської державної морської академії.– Херсон: ХДМА, 2012 – №6 . – с. 211-224.

УДК 532.528

РУХ ПІДВОДНИХ СУПЕРКАВІТУЮЧИХ АПАРАТІВ ЗА ЗАДАНИМИ ТРАЄКТОРІЯМИ

*Автори: Семененко В.М., д.т.н., ст. наук. співробітник;
Наумова О.І., Інститут гідромеханіки НАН України, м. Київ, Україна*

1. Вступ.

Розглядається проблема автоматичного управління рухом високошвидкісних підводних суперкавітуючих апаратів (СКА), що забезпечує їх рух за заданими (програмними) траєкторіями. Метод дослідження – комп'ютерне моделювання динаміки СКА за допомогою розробленої нами програми **SCAV**, яка дозволяє досліджувати стійкість руху самохідних СКА та їхню здатність до маневрування при різних способах управління [1, 2].

В якості керуючих елементів моделей СКА використовуються поворотний конусний кавітатор та гідродинамічні рулі, що проникають з каверни у воду (див. Рис. 1). У всіх випадках використовується метод автоматичного регулювання кутів відхилення керуючих елементів за принципом зворотного зв'язку.

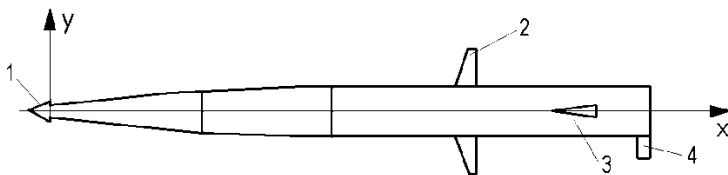


Рис.1. Розрахункова модель СКА: 1 – поворотний конусний кавітатор, 2 – вертикальні рулі, 3 – горизонтальні рулі, 4 – руль крену

Здатність СКА здійснювати маневри по глибині та за курсом можна характеризувати залежністю кутів траєкторії у вертикальній площині $\vartheta = \psi - \alpha$ та горизонтальній площині $\chi = \phi - \beta_y$ від кутів повороту кавітатора δ_z , δ_y і кутів відхилення рулів δ_{fh} , δ_{fv} (тут ψ , ϕ , α , β_y – відповідно кути тангажу, рискання, атаки і ковзання).

2. Спосіб задання програмних траєкторій руху СКА.

Ми припускаємо, що програмна траєкторія апарату складається з прямолінійних відрізків та/або дуг кіл (ланок). Для кожної ланки задаються її криволінійна довжина та сталі швидкості зміни траєкторних кутів $d\vartheta_i / dt = const$, $d\chi_i / dt = const$. Для кожної точки траєкторії з розрахунковим кроком h_s обчислюються її земні координати x_j, y_j, z_j та значення траєкторних кутів ϑ_j, χ_j , $j = 1, 2, \dots, N_1$ за такими формулами:

$$\vartheta_j = \vartheta_{j-1} + h_s \frac{d\vartheta_{j-1}}{dt} \frac{1}{V_0}, \quad \chi_j = \chi_{j-1} + h_s \frac{d\chi_{j-1}}{dt} \frac{1}{V_0}, \quad (1)$$

$$\begin{aligned} x_j &= x_{j-1} + h_s \cos \vartheta_{j-1} \cos \chi_{j-1}, & y_j &= y_{j-1} + h_s \sin \vartheta_{j-1} \cos \chi_{j-1}, \\ z_j &= z_{j-1} + h_s \sin \chi_{j-1}, \end{aligned} \quad (2)$$

де N_1 – загальна кількість розрахункових точок програмної траєкторії.

При заданні програмних траєкторій необхідно враховувати обмеження на гранично допустиму кривизну траєкторії високошвидкісних СКА [3, 4]. Недотримання цих обмежень призводить до замивання апарату та втрати стійкості руху в суперкавітаційному режимі.

3. Алгоритми автоматичного управління рухом СКА.

При русі СКА за заданою траєкторією у вертикальній площині (тобто по глибині) шляхом регулювання кута нахилу конусного кавітатора $\delta_z(t)$ закон зворотного зв'язку з урахуванням напрямку дії поперечних сил задається у вигляді:

$$\delta_z(t) = \delta_{z0} + k_1 [y(t - t_{dw}) - y_1(t)] + k_2 [\vartheta(t - t_{dw}) - \vartheta_1(t)] + k_3 \omega_z(t - t_{dw}), \quad (3)$$

$$\beta_n > 86.85^\circ,$$

$$\delta_z(t) = \delta_{z0} - k_1[y(t - t_{dw}) - y_1(t)] - k_2[\vartheta(t - t_{dw}) - \vartheta_1(t)] - k_3\omega_z(t - t_{dw}),$$

$$\beta_n < 86.85^\circ,$$

де $30^\circ \leq \beta_n \leq 180^\circ$ – кут конусності кавітатора; δ_{z0} – початкове значення кута δ_z ; $y_1(t)$, $\vartheta_1(t)$ – поточні значення вертикальної координати і кута програмної траєкторії; $k_1 \geq 0$, $k_2 \geq 0$, $k_3 \geq 0$ – коефіцієнти зворотного зв'язку (передатні числа); t_{dw} – час затримки спрацювання виконавчого пристрою. При цьому для зміни кута нахилу кавітатора вводиться обмеження $|\delta_z(t)| \leq \delta_{z1}$.

При русі СКА за заданою траєкторією по глибині та за курсом шляхом регулювання кутів відхилення горизонтальних та вертикальних рулів $\delta_{fh}(t)$, $\delta_{fv}(t)$ закони зворотного зв'язку задаються у вигляді:

$$\delta_{fh}(t) = \delta_{fh} - m_1[\vartheta(t - t_{dw}) - \vartheta_1(t)] - m_2\omega_z(t - t_{dw}), \quad (4)$$

$$\delta_{fv}(t) = \delta_{fv} - b_1[\chi(t - t_{dw}) - \chi_1(t)] + b_2\omega_y(t - t_{dw}), \quad (5)$$

де $m_1 \geq 0$, $m_2 \geq 0$, $b_1 \geq 0$, $b_2 \geq 0$ – коефіцієнти зворотного зв'язку; $\chi_1(t)$ – поточні значення кута програмної траєкторії. При цьому для зміни кутів відхилення горизонтальних та вертикальних рулів вводяться обмеження $|\delta_{fh}(t)| \leq \delta_{fh1}$, $|\delta_{fv}(t)| \leq \delta_{fv1}$.

У разі просторового руху СКА необхідно стабілізувати кут крену апарата θ . Для активної стабілізації нульового кута крену моделі в програмі **SCAV** використовується автоматичне регулювання кута відхилення спеціального руля крену $\delta_{fb}(t)$ (див. Рис. 1). Закон зворотного зв'язку для зміни кута δ_{fb} задається у вигляді:

$$\delta_{fb}(t) = -u_1\theta(t - t_{dw}) - u_2\omega_x(t - t_{dw}), \quad (6)$$

де $u_1 \geq 0$, $u_2 \geq 0$ – коефіцієнти зворотного зв'язку. При цьому для зміни кута відхилення руля крену вводиться обмеження $|\delta_{fb}(t)| \leq \delta_{fb1}$. Члени у формулах (3)–(6), пропорційні кутовим швидкостям апарата ω_z , ω_y , ω_x , є демпфуючими.

4. Комп'ютерне моделювання руху СКА за заданими траєкторіями.

Алгоритми (1)–(6) реалізовано нами у вигляді функцій програми SCAV, які для заданого набору параметрів дозволяють оперативно розрахувати траєкторію моделі СКА та порівняти її з програмною траєкторією (див. Рис. 2).

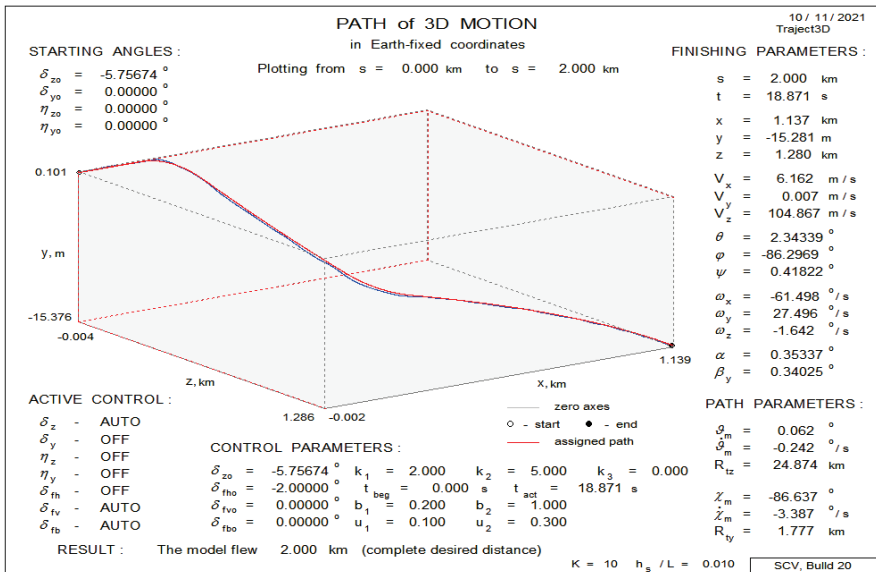


Рис. 2. Порівняння реальної та програмної траєкторій моделі СКА

Комп'ютерне моделювання показало, що для просторового маневрування СКА за заданою траєкторією досить ефективним є одночасне незалежне автоматичне регулювання кута нахилу кавітатора за законом (3) та кута відхилення вертикальних рулів за законом (5). У той же час одночасне автоматичне регулювання кутів відхилення горизонтальних та вертикальних рулів за законами (4, 5) виявилось неефективним.

На Рис. 3 наведено графіки зміни кута $\delta_z(t)$ (а) і кута $\delta_{fv}(t)$ (б) при русі моделі СКА за заданою просторовою траєкторією (див. Рис. 2). Основні параметри розрахунку: довжина моделі 6.0 м, маса моделі

600 кг, дисковий кавітатор діаметром 70 мм (тобто $\beta_n = 180^\circ$), початкова швидкість $V_0 = 120$ м/с, початкова глибина 10 м. Використовувалися наступні значення коефіцієнтів зворотного зв'язку в (3, 6, 7): $k_1 = 2.0$, $k_2 = 5.0$, $k_3 = 0$, $b_1 = 0.2$, $b_2 = 1.0$, $u_1 = 0.1$, $u_2 = 0.3$. При розрахунку було встановлено обмеження $\delta_{z1} = 20.0^\circ$, $\delta_{\dot{v}1} = 15.0^\circ$, $\delta_{\dot{b}1} = 15.0^\circ$. При цьому середня частота коливань кавітатора склала 6.22 Гц, середня частота коливань вертикальних рулів склала 4.52 Гц, середня частота коливань руля крену склала 6.52 Гц.

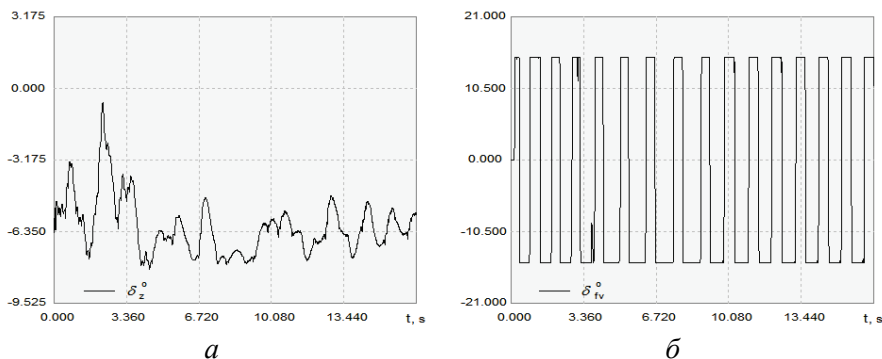


Рис. 3. Робота органів управління СКА під час руху
за заданою траєкторією:

а – поворотний дисковий кавітатор; *б* – вертикальні рулі

5. Висновки.

Запропоновано спосіб задання програмних траєкторій руху високошвидкісних СКА. Розроблено алгоритми автоматичного управління рухом СКА, що забезпечують їх рух за заданими (програмними) траєкторіями. Розроблені алгоритми реалізовано як функції комп'ютерної програми SCAV.

Показано, що для забезпечення руху СКА за заданими просторовими траєкторіями досить ефективним є одночасне незалежне автоматичне регулювання кута нахилу кавітатора $\delta_z(t)$ пропорційно відхи-

ленню глибини $y(t)$ і траєкторного кута $\vartheta(t)$ за законом (3) і регулювання кута відхилення вертикальних рулів $\delta_{fv}(t)$ пропорційно відхиленню траєкторного кута $\chi(t)$ за законом (5).

Список літератури:

1. Semenenko V.N., and Naumova Ye.I. Study of the supercavitating body dynamics. *Supercavitation: Advances and Perspectives*. Springer-Verlag, Berlin and Heidelberg, 2012, pp. 147–176.
2. Semenenko V.N. Prediction of supercavitating vehicle maneuvering. Proceedings of the 11th International Scientific School “High Speed Hydrodynamics & Shipbuilding (HSH-2013)”, 20-26 June 2013, Cheboksary, Russia, pp. 181–190.
3. Савченко Ю.Н., Семененко В.Н., Савченко Г.Ю. Особенности маневрирования при суперкавитационном обтекании // Прикладна гідромеханіка. – 2016. – Т. 18, № 1. – С.79–82.
4. Savchenko Yu., Semenenko V., and Savchenko G. Peculiarities of supercavitating vehicles' maneuvering // *International J. of Fluid Mechanics Research*. – 2019. – Vol. 46, No. 4. – pp. 309–323.

**ВИСНОВКИ ТА УРОКИ З НАРОЩУВАННЯ ВИРОБНИЧИХ
ПОТУЖНОСТЕЙ КОРАБЕЛЕНЬ МИКОЛАЄВА У
БУДІВНИЦТВІ ПІДВОДНИХ ЧОВНІВ У МІЖВОЄННИЙ
ПЕРІОД**

Автор: С.М. Соколюк, к.і.н., доцент, професор кафедри Військово-Морських Сил Національного університету оборони України ім. І.Черняховського, м. Київ, Україна

На початку ХХ ст. потужним центром військового кораблебудування Російської імперії були суднобудівні підприємства у містах Миколаєві, Херсоні, Севастополі й Одесі. Зі зміною військово-політичної ситуації у Причорномор'ї та загрозою втрати домінування Росії на Чорному морі напередодні Першої світової війни були вжиті заходи з посилення Чорноморського флоту [28, с.116] з використанням кораблебудівних потужностей Півдня України, для чого у м. Миколаєві на суднобудівних підприємствах розпочалося будівництво підводних човнів (далі – пч), яке тривало і під час війни. Усього в період з

1909 р. по листопад 1918 р. із закладених 19 підводних човнів було збудовано 12 од., недобудовано 4 од. і три пч типу «АГ» були перезакладені та введені до строю за радянських часів.

Починаючи з 1918 р., Південь України, як вся її територія, став ареною жорстокої боротьби, неодноразово переходячи із рук в руки протиборчих сторін – військ і флоту Антанти, Збройних Сил Півдня Росії – «білого руху», та військ українських державних утворень. Так, на початку травня 1918 р. після захоплення німецькими військами Миколаєва недобудований підводний човен «АГ-23» перейшов під контроль Української держави [1]. 10 серпня 1918 р. Радою міністрів Української держави був ухвалений і затверджений гетьманом П. Скоропадським Закон «Про перетворення колишнього відділу Балтійського корабельно-будівельного і механічного заводу у м. Миколаєві, на Херсонщині, в самостійний казенний завод Української Держави» [5].

Із заняттям більшовицькими військами 14 березня 1919 р. Миколаєва підводні човни «Нѣрпа» типу «Моржъ» (перебував у капітальному ремонті на заводі «Руссуд» [16]) та «АГ-23» (на той час у стадії добудови) перейшли до складу «червоного» Українського флоту [11, с.54]. Виходячи із досвіду Першої світової війни, під час якої підводні човни зарекомендували себе ефективним засобом боротьби з надводними кораблями та суднами противника, уряд розробив програму суднобудування на 1919 р. Згідно програми миколаївські заводи передбачалося профінансувати та забезпечити паливом і прискорити роботи щодо завершення будівництва підводних човнів типу «Барс» – «Пѣликанъ», «Лѣбедь» і капітального ремонту пч «Нѣрпа», а також добудови човнів типу «Американський Голланд»: «АГ-22», «АГ-23», «АГ-24», «АГ-25», «АГ-26» [9, с.47–48].

Підводні човни типу «Американський Голланд»: «АГ-21» – «АГ-26», побудовані у 1916 р. за проектом фірми «Elektrik Boat Co» на судноверфі «Barnet Yard» у Ванкувері (Канада), спочатку для ВМС Великобританії, були придбані заводом «Ноблесснер» на замовлення Морського відомства Росії, 21.08.1917 р. були зараховані до складу МСЧМ Російського імператорського флоту. Восени 1917 р. човни через Тихий океан у розібраному вигляді були перевезені до Владивостока,

звідки залізницею доправлені до м. Миколаєва на завод «Руссуд» для добудови. Відтак, 3 травня у Миколаєві Чорноморський Червоний флотський екіпаж розпочав збирання п'яти підводних човнів типу «АГ», з котрих пч «АГ-22» повинен був вступити в стрій уже в тому ж місяці. На пч «Нърпа» продовжувався капітальний ремонт [11, с.55].

Човен «АГ-21» 28.03.1917 р. був перезакладений і в жовтні того ж року спущений на воду. Після добудови і випробувань перейшов до Севастополя, де восени 1918 р. увійшов до складу Морських сил Півдня Росії Добровольчої білої армії. 24 листопада 11.1918 р. «АГ-21» був захоплений в Севастополі інтервентами та 26.04.1919 р. за наказом англійського командування затоплений на зовнішньому рейді. У подальшому 21.05.1928 р. човен був піднятий Чорноморською партією Експедиції підйомних робіт особливого призначення (ЭПРОН) і 30.12.1930 р. після відновлювального ремонту в Севастополі на «Севморзаводі» знову увійшов до складу Морських Сил Чорного моря. Проте, 8.06.1931 р. у результаті зіткнення з ескадреним міноносцем «Фрунзе» «АГ-21» затонув поблизу Севастополя. Через дві доби, 10.06.1931 р., човен був піднятий вдруге і 01.01.1932 р. після аварійного ремонту знову введено в стрій; 11.01.1935 р. увійшов до складу Чорноморського флоту (з 1.01.1935 р.) [26].

У серпні 1919 р., із зайняттям військами «білих» Миколаєва і Херсона човни увійшли до складу Морських Сил Півдня Росії, у складі якого на середину вересня передбачалося мати 6–10 боєготових субмарин. З цією метою командуванням планувалося ввести в стрій пч «АГ-22», добудувати «АГ-23», «АГ-24», «АГ-25» та «АГ-26», відремонтувати човни «Тюлень», «Утка» та «Буревістникъ» і підготувати підводників для укомплектування команд [11, с.56]. Таким чином у складі Морських сил Півдня Росії Добровольчої білої армії на 1919–1920 рр. планувалося мати 1-й дивізіон підводних човнів (човни «Тюлень», «Утка», «Буревістникъ»); 2-й дивізіон підводних човнів: «АГ-22» (вступив до строю 5 серпня 1919 р.), «АГ-23» (вступ до строю планувався на 1 червня 1920 р.), «АГ-24» (вступ до строю – 1 червня 1920 р.), «АГ-25» (вступ до строю – 1 серпня 1920 р.), «АГ-26» (вступ до строю – 15 серпня 1920 р.) [11, с.57].

Тим часом «червоні» розвинули наступ на півдні і 30 січня 1920 р. здобули Миколаїв і Херсон, а 8 лютого – Одесу [11, с.58]. У результаті

переходу Миколаєва від однієї ворогуючої сторони до іншої «АГ-22» дістався «білим» і був включений до складу Морських сил Півдня Росії Добровольчої білої армії та перейшов до Севастополя, звідки 14.11.1920 р. був відведений врангелівцями під час евакуації із Севастополя до Стамбула, а 29.12.1920 р. – інтернований французькою владою в Бізерті (Туніс) [26]. «АГ-23», перезакладений на заводі «Наваль» 29.04.1917 р. і спущений на воду 01.06.1920 р., вступив у стрій 21.10.1920 р. (за іншими даними: 18.09.1920 р.) та увійшов до складу Морських Сил Чорного моря Робітничо-селянського червоного флоту [9, с.48].

Інші недобудовані човни у другій половині січня 1920 р. були виведені із заводу, «Льбедь» і «Пльикань» за наказом командування флоту Антанти були затоплені на рейді Одеси [11, с.58], а «Орлань» – у районі Севастополя [10, с.364].

Зі здобуттям 31 січня радянськими військами Миколаєва Всеросійська Рада Народного Господарства своїм розпорядженням створила Об'єднане правління Миколаївських суднобудівних заводів «Наваль», «Руссуд», «Ремсуд» і «Темвод». 8 квітня того ж року ці заводи з метою покращення координації своїх дій і більш планомірного використання матеріальних і трудових ресурсів об'єдналися в одне підприємство «Тремсуд» [12, с.140].

Із виходом «червоних» у січні – лютому 1920 р. на узбережжя Чорного та Азовського морів розпочалося формування Морських та річкових сил Південно-Західного фронту, які у травні 1920 р. були реорганізовані в Морські сили Чорного та Азовського морів (МСЧАМ) [7, с.12], в яких гостро постало питання комплектування як бойовими одиницями, так і особовим складом [9, с.50]. З метою якнайшвидшої добудови закладених у Миколаєві субмарин для боротьби із флотом Врангеля (Морські сили півдня Росії – С.С.) Голова Раднаркому РРФСР В. Ульянов (Ленін) віддав розпорядження про відправлення з Балтики до Миколаєва групи моряків-підводників [2, с.76], а в розпорядження командувача Морськими Силами Південно-Західного фронту М. Ізмайлова було відряджено всіх без винятку «воєнморів» командного і рядового складу всіх спеціальностей, у тому числі «підводного флоту» із діючих сухопутних частин, штабів, управлінь та установ з інших

флотів [9, с.50]. Із 84 членів екіпажів підводних човнів, що знаходилися на Каспії, 72 було відправлено на Чорне море [7, с.13]. 17 вересня 1920 р. команда каспійців-підводників на чолі з начальником дивізіону Ю. Пуаре прибули до Миколаєва, де 8 осіб призначили на «АГ-23», а решту розподілили по човнах, що будувалися [6, с.39].

У травні 1920 р. ЦК РКП(б) та Радянський уряд ухвалили рішення негайно розпочати добудову на південних суднобудівних заводах, крім двох есмінців, трьох десантних суден, а в подальшому – крейсерів, ще й трьох підводних човнів, які залишилися, як зазначалося вище, на стапелях заводу «Руссуд» – «АГ-23» та «АГ-24», та призначений для капітального ремонту – пч «Нѣрпа» [7, с.13]. Відтак, протягом наступних двох років на кораблебудівних підприємствах Миколаєва, зокрема, на заводі «Наваль» [3, арк.11-25] та «Руссуд», поряд з іншими об'єктами, добудовувалися раніше закладені підводні човни.

Слід зазначити, що по завершенню періоду збройного протистояння 1917–1920 рр. на території колишньої Російської імперії зруйнована суднобудівна промисловість не була спроможна ані будувати, ані відновлювати підводні човни. У складі Робітничо-селянського Червоного флоту налічувалося всього 23 човни типу «Касатка», «Миного», «Моржъ», «Барсь» і «АГ», із них 10 (9 типу «Барсь» і один типу «АГ») були придатні до бойового використання, 7 – у резерві, 6 – на стадії будівництва, збирання і ремонту [6, с.33; 7, с.15]. Реальні можливості створення нових субмарин з'явилися лише у другій половині 1920-х рр., коли Раднаркомом РРФСР було ухвалене рішення з будівництва кораблів для Робітничо-селянського Червоного флоту (далі – РСЧФ), у першу чергу підводних човнів. З цією метою були розроблені оперативно-тактичні завдання та здійснювалося їх проектування, що стало початковим етапом радянського підводного кораблебудування (1920–1926 рр.) [7, с.4].

Особливістю стало те, що Радянський уряд відмовився придбати підводні човни за кордоном, побоюючись того, що можуть бути запропоновані застарілі або дефектні кораблі. Натомість, створювати підводні човни, не повторюючи пройдені етапи підводного кораблебудування, а спрямовані на перспективу, залучивши до цієї справи провідних вчених і найбільш досвідчених командирів-підводників, зокрема й дореволюційного флоту [7, с.30].

Вже 1 червня 1920 р. у Миколаєві у присутності уповноваженого ЦК РКП(б) А. Луначарського на Миколаївському об'єднанні заводів «Тремсуд» (Трест морського суднобудування), що був утворений у результаті злиття суднобудівних підприємств міста, був спушений на воду пч «АГ-23» [6, с.38; 7, с.13; 11, с.58] і натомість закладений пч «АГ-24» [7, с.14; 9, с.50–51].

Після завершення збирання «АГ-23» 13 вересня розпочав ходові випробування в Дніпро-Бузькому лимані, що викликало паніку серед командування Каркінитського загону флоту «білих», та змусило їх переховуватися у мілководному районі поблизу Тендрівської коси, виставляти катерний дозор та проводити інші протичовнові заходи [11, с.59].

Після підняття Військово-морського прапора на пч «АГ-23» 22 вересня 1920 р. розпочався завершальний етап його випробувань з виходами через Дніпро-Бузький лиман у відкрите море. Це надзвичайно стурбувало англійців, які після першого виходу човна у море надіслали ноту Радянському уряду, в якій попереджували про те, що англійські кораблі будуть атакувати радянські підводні човни, причому не тільки на Балтійському, а й Чорному морях [7, с.14; 9, с.51]. Оскільки човен боєзапасом не був забезпечений, він виявився небоєготовим [11, с.58].

Випробування «АГ-23» було завершено до початку жовтня, опісля чого на човен із Балтики врешті-решт були доправлені бойові торпеди [10, с.364]. 5–6 жовтня човен прорвав блокаду кораблів Морських сил Півдня Росії і прибув до Одеси. Після відвідання човна в Одесі Головою Центрального Виконавчого Комітету М. Калініним 21 жовтня 1920 р. човен був включений до складу новостворених у травні «червоних» Морських сил Чорного та Азовського морів. Цього ж дня був створений дивізіон підводних човнів Морських сил Чорного моря (МСЧМ) [11, с.57].

Наприкінці жовтня 1920 р. «АГ-23» відвідав Голова ВЦВК М. Калінін. 23 жовтня у присутності головнокомандувача С. Камєнева, наркомів Д. Курського, М. Семашко та інших високих посадовців відбулося закладення четвертого човна – «АГ-26» («Ім. тов. Камєнева»). РПО

ухвалив визнати добудову підводних човнів надважливим завданням з цілодобовим (!) веденням робіт на них [7, с.15].

2 квітня 1921 р. у Миколаєві був спушений на воду і 22 липня увійшов до складу МСЧМ пч «АГ-24». Оскільки темпи суднобудівних робіт не знижувалися, достроково увійшли до складу МСЧМ: 26 травня 1922 р. «АГ-25» [4, арк. 1-2.], 11 липня 1923 р. – «АГ-26» [7, с.19].

Слід особливо зазначити, що відновленню підводних сил на Чорному морі приділяли значну увагу партійне, державне та військове керівництво держави. На човнах «Политрук» (до 31.12.1922 р. – «Нѣрпа») та «Коммунист» («АГ-24») почесними членами екіпажу Постановою Реввійськради СРСР були призначені відповідно Голова Реввійськради СРСР М. Фрунзе та Генсек ЦК ВКП(б) Й. Сталін [7, с.19].

Утім, склад флоту в умовах післявоєнної розрухи визначався не завданнями, а обсягом фінансування. Так, начальник Військово-Морських Сил СРСР Е. Панцержанський у своєму запиті від 28.05.1924 р. звертався до заступника голови Реввійськради (РВР) про необхідність асигнувань для потреб ВМС у сумі 9 млн. крб. замість виділених 1 млн. крб. Прикметно, що 756 тис. крб. призначалося для витрат в інтересах «підводного плавання» – придбання 14 комплектів акумуляторних батарей для всіх пч РСЧФ, які знаходилися в строю, та двох новітніх англійських перископів [13, с.312-313].

Зазначимо, що ще наприкінці 1921 р. Морська підкомісія з відновлення військової промисловості обговорювала перспективи будівництва підводних човнів: торпедних, підводних мінних загороджувачів та підводні крейсери з потужним артилерійським озброєнням. 19 серпня 1923 р. командування Військово-Морських Сил РСЧА створило комісію, яка підготувала оперативно-тактичні завдання проєктів підводних човнів [7, с.26–28].

Оперативно-тактичні вимоги до проєктів субмарин лягли в основу ухваленого в 1924 р. Радою Народних комісарів РРФСР рішення про проєктування і будівництво підводних човнів з урахуванням наявних промислових потужностей [7, с.29].

У 1925 р. РВР СРСР підготував проєкт програми військового суднобудування, що передбачав побудову у першу чергу підводних човнів [7, с.31] і в січні 1926 р. згідно рішення Раднаркому РРФСР фахівці Науково-технічного комітету Управління ВМС розпочали проєкту-

вання першого радянського підводного човна типу «Д» – «Декабрист» [8, с.287].

Будівництву підводних човнів, як на Балтиці, так і на Чорному морі, партійне керівництво й Уряд СРСР надавали пріоритет у військовому кораблебудуванні [7, с.36]. 26 листопада 1926 р. РПО на чолі з Головою РНК СРСР А. Риковим затвердила першу 6-річну «Програму будівництва Морських сил РСЧА на 1926/27–1931/32 рр.» [14, с.15], що передбачала, крім інших кораблів, побудову 12 субмарин [6, с.47]. Саме субмарини посідали в кораблебудівній програмі чільне місце, що свідчило про єдність поглядів партійного, державного і військового керівництва країни з основних питань військово-морської теорії, визначенні на найближчу перспективу головного напрямку у будівництві РСЧФ. 17 лютого 1927 р. РВР СРСР затвердив загальний проєкт торпедного підводного човна [7, с.32].

Відповідно до «Програми...», у березні – квітні 1927 р. і було закладено 6 підводних човнів типу «Д» [14, с.15], зокрема, 14 квітня 1927 р. у Миколаєві на заводі №198 ім. А. Марті (колишній «Наваль», до недавнього часу Чорноморський суднобудівний завод) для ЧФ було закладено човни «Революционер» («Д-4»), «Спартаковец» («Д-5») і «Якобинец» («Д-6») [7, с.35; 17; 18; 19]. Будівництво човнів першого радянського проєкту не залишалося поза увагою вищого партійно-державного керівництва. Так, у травні 1927 р. стан справ з будівництвом субмарин у Миколаєві вивчав секретар ЦК ВКП(б), Голова ВРНГ СРСР В. Куйбишев [7, с.53]. По завершенню побудови човни були включені до складу МСЧМ у 1931 р.: «Революционер» (5 січня), «Спартаковец» (17 травня), «Якобинец» (12.06) [7, с.56].

4 лютого 1929 р. Радою праці та оборони був затверджений новий варіант програми розвитку ВМС РСЧА на першу п'ятирічку (1929–1933 рр.), обсягом 321 млн. крб., з яких трохи більше половини передбачалося витратити на кораблебудування, які, утім, 15 липня рішенням Політбюро ЦК ВКП(б) були скорочені на 84 млн. крб. [14, с.18]. Програмою визначалося побудувати 18 великих і 4 малі підводні човни [7, с.67].

Перша програма військового суднобудування, затверджена в 1926 р., поряд із торпедними човнами передбачала будівництво підво-

дного мінного загороджувача (ПМЗаг) – по три одиниці для Балтійського і Чорного морів - II серія [7, с.67]. До вироблення найбільш раціонального технічного завдання для підводних човнів II серії було залучено широкі кола балтійських і чорноморських підводників та мінерів. За найменуванням головної субмарини II серії усі човни цього типу почали називатися «Ленинцями» [7, с.76–77].

Для Морських сил Чорного моря у Миколаєві на заводі №198 ім. А. Марті (до недавнього часу – ЧСЗ) 15 березня 1930 р. було закладено два ПМЗаги II серії («Гарібальдієц» и «Чартист»), 15 квітня – «Карбонарий» [7, с.85; 20; 21; 22]. І вже через три з половиною роки – 14 жовтня 1933 рр. «Гарібальдієц» («Л-4») був включений до складу МСЧМ, 2 листопада – «Чартист» («Л-5») та 11 травня 1935 р. – «Карбонарий» («Л-6») [7, с.85].

Відповідно до програми військового суднобудування, затвердженої в 1926 р., наприкінці 1929 р. була завершена розробка підводного човна III серії середньої водотоннажності, що була названа за найменуванням головного у цій серії – «Щука» [7, с.93], всі були побудовані для Балтійського моря. Удосконаленою модифікацією пч типу «Щука» стали човни серій V-бис (спочатку VII серія), V-бис-2, X та X-бис, в яких були внесені окремі конструктивні зміни, що покращили живучість субмарин, внутрішнє розташування механізмів та пристроїв, та дещо покращили тактико-технічні елементи. Були встановлені більш досконалі електронавігаційні прилади, засоби радіозв'язку та гідроакустики. Із 13 пч серії V-бис 3 од. були побудовані для Чорноморського флоту [7, с.245], із 14 човнів серії V-бис-2 чотири отримав ЧФ [7, с.100, 246].

Із середини 1934 р. у Миколаєві розпочалося будівництво пч типу «Щ» X серії. Побудовані промисловістю для ВМФ 32 пч X серії були розподілені наступним чином: на Балтику – 15 од., Тихий океан – 9 і на ЧФ – 8 од. Загалом із 88 пч типу «Щука» серій V-бис, V-бис-2, X та X-бис, побудованих промисловістю, до складу ВМФ СРСР увійшло 86 од. [7, с.103].

З призначенням на посаду начальника штабу РСЧА Б. Шапошнікова та зміни в середині 1931 р. керівництва Управління ВМС РСЧА, 11 липня 1931 р. на засіданні Комісії оборони при Раді праці та оборони керівництву УВМС РСЧА було рекомендовано в пе-

ріод 1932–1935 рр. побудувати 200 субмарин. Разом із тим, виділені кошти ВМС освоїти не були в змозі, оскільки кораблебудівні потужності промисловості СРСР були менше необхідних у 8 разів [14, с.19].

22 лютого 1932 р. Рада праці й оборони (РПО) ухвалила постанову щодо будівництва Військово-Морських Сил РСЧА на 1932 рік, згідно якої протягом року на суднобудівних підприємствах мало бути закладено 25 середніх (типу «Щ» V серії) і 30 малих (типу «М» VI серії) підводних човнів, натомість скасовувалося закладення 40 цивільних суден [13, с.319]. Проте, на кінець 1932 р. до строю вдалося ввести тільки 6 пч 1-ї черги програми 1926 р. – тобто ті, що згідно планів мали поповнити флот на кінець 1929 р., причому через відсталість виробничої бази та нестачу кваліфікованих кадрів комплектуючі доводилося виготовляти за кордоном, що зумовило певне відставання у розробці технічних систем і озброєння човнів, зокрема, радіолокаційних і гідроакустичних станцій [14, с.19–20].

20 березня 1932 р. РВР СРСР затвердив проєкт малого підводного човна VI серії типу «М» – «Малютка» [7, с.119], або, як деякі автори називали «М» – «месь» («помста») Сталіна. Будівництво субмарин цього проєкту було доручено Миколаївському заводу «Руссуд», де 29 серпня 1932 р. був закладений головний човен (пізніше – «М-2»), а 2 і 3 жовтня «М-3» та «М-1». 16 березня 1933 р. на воду був спущений «М-3», а 8 і 9 квітня «М-2» і «М-1» відповідно [7, с.120]. Особливістю було те, що корпуси човнів цієї серії вперше будувалися цільносварними, для їх випробування було побудовано спеціальну камеру, в якій імітувалося занурення човна на надпроєктну глибину [12, с.154]. Загалом до складу ВМФ були прийняті від промисловості 30 пч типу «М» VI серії, із них 28 – доправлені на Далекий Схід. Два пч – «М-51» та «М-52» залишилися на ЧФ для підготовки кадрів підводників

11 липня 1933 р. Рада Праці й Оборони ухвалила постанову «Про програму військово-морського суднобудівництва на 1933–1938 рр.», згідно якої передбачалося побудувати і прийняти до складу ВМФ 369 пч, у т.ч. 69 великих, 200 середніх і 100 малих [7, с.128].

13 серпня 1933 р. урядом СРСР була ухвалена постанова про будівництво 20 пч типу «М» серії VI-бис. До кінця 1936 р. пч типу «М»

серії VI-бис увійшли до складу ВМФ і на початок німецько-радянської війни їх кількість становила: на Балтійському флоті 12 од, на Тихоокеанському – 6 і на ЧФ – 2 од. [7, с.123].

На кінець 1933 р. РСЧФ отримав 21 субмарину – 11 великих і 10 середніх [7, с.73].

Суттєво вплинули на будівництво підводних човнів «Основні міркування з розвитку ВМС РСЧА на другу п'ятирічку (1933–1937 рр.)», в яких в основу програми будівництва флоту був покладений, поряд із важкою авіацією, розвиток підводних сил – середнього тоннажу (600–750 т), великих човнів (900–1000 т) та малих (до 150 т). «Міркування...» передбачали на кінець 1938 р. у складі ВМС мати 298 субмарин. Зокрема, у складі Морських сил Чорного моря (далі – МСЧМ) передбачалося мати 30 великих (дев'ять позицій у напрямку Босфору і три в резерві) та 55 середніх підводних човнів (6 позицій біля Босфору та баз противника, 4 – на підходах до узбережжя Криму та північно-західного Причорномор'я і 25 човнів на Кавказькому напрямку) [13, с.321].

Постановою Ради праці та оборони (далі – РПО) від 11.07.1933 р. «Міркування...» були затверджені з коригуванням, згідно яких, для МСЧМ замість 30 великих планувалося побудувати 27 човнів, середніх – 55 і заплановано 20 малих, усього – 102 човни замість 85) із загальної кількості запланованих 376 [13, с.322].

Згідно затвердженої постановою РПО від 11 липня 1933 р. Програми будівництва ВМС РСЧА передбачалося різко збільшити видатки на військове кораблебудування, зокрема, протягом 1933–1935 рр. мали бути здані 157 субмарин [14, с.20], а на кінець 1938 р. – довести число човнів у строю в радянському флоті до 369 од, у т.ч. 69 великих, 200 середніх, 100 – малих пч, зокрема, на Чорноморському флоті – 102 од., (27 великих, у т.ч. 3 типу «Декабрист», 55 середніх, 20 малих) [7, с.128].

В реальності було здано 92 човни. Утім, на кінець 1935 р. за кількістю підводних човнів – 113 од. (у т. ч. 106 нової радянської побудови) – РСЧФ вийшов на перше місце у світі, обійшовши флоти США (84), Франції (77), Японії (70), Італії (69) й Англії (54) [14, с.20].

Починаючи із весни 1920 р., одним із шляхів нарощування сил флоту «червоні» командувачі розглядали підйом затонулих і затоплених ко-

раблів, у тому числі підводних човнів. Так, командувач Морськими Силами Південно-Західного фронту М. Ізмайлов видав наказ, згідно якого Одеському обласному управлінню водного господарства пропонувалося у найкоротший термін підняти затоплені «білими» на рейді Одеси човни «Льбедь» і «П'ликань» [9, с.50], що, утім, не далось здійснити. У 1924 р. для належної організації суднопіднімальних робіт була створена Експедиція підводних робіт на Чорному і Азовському морі (ЕПРОН). Планами передбачалося підняти підводні човни «Орлань», «Гагара», «Кить», «Кашалоть», «Нарваль», «П'ликань» і «АГ-21». У 1924 р. був здійснений підйом підводного човна «П'ликань», затопленого Антантою на підхідному каналі до Одеського порту. Проте, у зв'язку з неможливістю відновлення його технічного стану, було прийняте рішення про його утилізацію. Наступним, як зазначалося вище, був піднятий «АГ-21». У період з 1926 по 1935 р. на Чорному морі були підняті субмарини «Орлань», «Судакь», «Налимь», «Лосось», «Кить» та «Крабь», проте від їх відновлення також відмовилися [13, с.314-315]. Піднятий у 1928 р. пч «АГ-21» вдалося відновити [11, с.116].

Згідно постанови Ради праці й оборони від 27 квітня 1936 р. «Про програму морського суднобудування на 1936 р.» підводне кораблебудування планувалося якісно покращити за рахунок переходу на нові проекти кораблів: великих XIV серії (тип «КЕ», згодом – «К»), середніх типу IX (тип «Н», потім перепозначений як тип «С») та малих XII серії. Натомість будівництво за попередніми проектами, за виключенням уже закладених, припинялося [13, с.323].

26 червня 1936 р. Раднарком затвердив «10-літню» кораблебудівну програму, яка фактично припиняла програму 2-ї п'ятирічки. Згідно цієї програми на 1 січня 1947 р. у складі Чорноморського флоту повинно було налічуватися підводних човнів: типу «Д» – 3, «Л» – 3, «К» – 4, «Щ» – 15, «С» – 9, «М» (VI та VI-біс серії) – 28, «М» (XII серія) – 12; усього – 54 із загальної кількості 344 од. – порівняно з планом 1933 р. – 377 ПЧ – за рахунок скорочення підводних сил ЧФ. Ці довгострокові плани суттєво коригувалися щорічними планами закладення і введення до строю, узгодженими з виробниками, які намагалися замінити крейсери підводними човнами, а крейсерські ПЧ – човнами типу «М» [13, с.324].

Оскільки, виходячи тільки із політичних й оперативно-тактичних чинників, не були враховані у процесі будівництва фінансові та економічні можливості держави, її реальні можливості [7, с.132], план будівництва підводних човнів був виконаний усього на 40%. Крім того, суттєво впливали на розвиток сил і їх підготовки відсутність повноцінного штабу та системи керівних бойових документів [14, с.20].

Відтак, за роки другої п'ятирічки (1933–1937) увійшли до складу РСЧФ 137 підводних човнів, (13 великих, 72 середніх та 52 малих), але фактично третина із запланованого [7, с.132].

Утім, у нових програмах військового кораблебудування знову проглядалася тенденція до збільшення кількості субмарин. Зокрема, згідно «Плану будівництва бойових кораблів Морських Сил РСЧА» від вересня 1937 р., чисельність підводних човнів планувалося довести до 375 (84 великих, 175 середніх і 116 малих), а 10-річним планом, представленим Наркомом ВМФ М. Кузнецовим, їх чисельність до кінця 1948 р. мала скласти 433 од. Затверджений 9 січня 1940 р. «5-річний» план на 1938–1942 рр. передбачав побудову 201 човнів (30 великих, 93 середніх і 78 малих), з яких планувалося ввести до строю за станом на 1 січня 1943 р. 131 од. (27, 44 і 60 відповідно) [13, с.325].

На відміну від першого етапу радянського підводного кораблебудування, на початку 1930-х рр. радянське партійно-урядове керівництво сприяло вивченню передових технологій та новацій кораблебудування у провідних країнах світу – Німеччину, Іспанію [7, с.134]. Результатом співпраці з німецькою фірмою «Дешимаг» («Deutsche Schiffs und Maschinenbau Gesellschaft» – «Німецьке товариство кораблів і машинобудування») стало створення проекту нового середнього підводного човна [7, с.134] і закладення в Ленінграді на межі 1935–1936 рр. трьох підводних човнів типу «С» нової серії IX-бис, які вже у листопаді 1936 р. увійшли до складу Балтійського флоту. Будівництво головного підводного човна серії IX-бис для Чорноморського флоту («С-31») розпочалося 5 жовтня 1937 р. на заводі №198 ім. А.Марті (колишній «Наваль») у м. Миколаєві і 25 червня 1940 р. він увійшов до його бойового складу. Усього до початку німецько-радянської війни було збудовано для ВМФ СРСР 3 пч типу «С» IX серії та 14 човнів серії IX-бис [7, с.141], із них у Миколаєві на заводі №198 ім. А.Марті для Чорноморського флоту було закладено 6 і до початку радянсько-німецької війни збудовано 4 пч типу «С» серії IX-бис [27].

З побудовою та використанням човнів типу «М» серій V і VI, які добре зарекомендували себе для підготовки особового складу у мирний час, постало питання про необхідність створення малого торпедного човна, який можливо було б транспортувати на інший театр дій, але й більш морехідного, з більшою надводною і підводною швидкістю, зі збільшеною у півтора-два рази дальністю плавання [7, с.149]. Серед двох варіантів у підсумку був обраний проект малого торпедного підводного човна XII-ї серії Наукового інституту військового кораблебудування. Головний підводний човен типу «М» XII серії був закладений для Чорноморського флоту 26 липня 1937 р. і увійшов до його складу 3 серпня 1939 р. До початку німецько-радянської війни до складу ВМФ увійшли 28 малих пч XII серії, зокрема: на Балтійський флот – 9 од., Північний флот – 6 од., Тихоокеанський флот – 3 од. І на Чорноморський флот – 10 од. [7, с.151].

У «Великій кораблебудівній програмі 1938 р.», складовій 10-літньої програми будівництва ВМФ, представлений Народним комісаріатом оборони у 1937 р., крім лінкорів і крейсерів, значна увага, як зазвичай, приділялася підводним човнам. На кінець 1946 р., крім інших бойових одиниць, передбачалося побудувати 336 підводних човнів, зокрема, мати в строю: на 1 січня 1938 р. – 171, 1 січня 1939 р. – 221, 1 січня 1943 р. – 341 підводний човен. На Чорноморському флоті передбачалося мати човнів: типу «Д» - 3 од. («Д-4» - «Д-6»), типу «Щ» - 15 од. («Щ-201» - «Щ-215»), типу «М» - 20 од. («М-51» - «М-50»), типу «С» - 20 од. («С-31» - «С-50»), типу «К» - («К-41» - «К-50») [7, с.165].

Ще одним варіантом суднобудівної програми, представленої ЦК ВКП(б) та РНК СРСР, на третю п'ятирічку передбачалося збудувати зокрема 198 підводних човнів: 27 великих (12 типу «К», 15 типу «Л»), 89 середніх (49 типу «С», 40 типу «Щ») і 82 малих (53 XII, 29 XV серій) [7, с.166].

У травні 1940 р. на заводі «Ім. 61 комунара» був спущений останній із пч типу «Щ», який завершував будівництво серії цього типу човнів, розпочате у 1934–1936 рр. [12, с.165].

Утім, програма військового суднобудування на третю п'ятирічку не була офіційно затверджена. Відтак, будівництво кораблів здійснювалося за річними планами, затвердженими вищим партійним і держа-

вним керівництвом, що відображало наявну в країні начальство-бюрократичні методи управління, стиль диктату і надцентралізації, що у підсумку, поряд із репресіями та беззаконням призвело до надзвичайних втрат у другій половині 1930-х років командних кадрів у Збройних Силах і керівних кадрів в економіці і, в підсумку [7, с.167].

У підсумку, на початок Другої Світової війни ВМФ СРСР мав у строю 161 підводний човен радянської побудови (26 великих, 77 середніх, 58 малих). У флотах провідних країн світу на момент їх вступу в Другу світову війну налічувалося: у німецькому – 57 од., в англійському – 69 од., у французькому – 77 од. У ВМС США налічувалося 99 пч, в Італії дна момент її вступу у війну на боці Німеччини (10 червня 1940 р.) – 115 од., у Японії на початок її агресивних дій на Тихому океані (7 грудня 1941 р.) – 63 од. [7, с.169–170].

Отже, СРСР на початок II Світової війни мав підводний флот, який не тільки значно перевищував за чисельністю будь-яку із країн, але й мав тактико-технічні елементи, що не поступалися у якісному відношенні закордонним.

Підводні сили Чорноморського флоту з березня 1931 р. були об'єднані у бригаду підводних човнів (командир Г.В. Васильєв). З поповненням флоту човнами від промисловості у 1936 р. була сформована 2-а бригада пч (командир капітан 2 рангу Ю Пантелєв), і в 1939 р. – 3-а бригада пч (командир – капітан 1 рангу А.С. Фролов) та навчальний дивізіон (три пч типу «Щ») [7, с.170].

Слід зазначити, що, незважаючи на різні чинники, конструктори, інженери та кораблебудівники з кожним проектом набували все більшого досвіду і кожна наступна серія човнів була більш досконалою за попередню, зокрема, серія ХІІІ-бис, закладена з початку 1938 р. [7, с.90]. Так, 20 січня 1938 р. на заводі №198 ім. А. Марті в Миколаєві був закладений ПМЗаг «Л-24»; 17.12.1940 р. він був спущений на воду і 6 травня 1942 р. після добудови у Поті увійшов до складу ЧФ [24]. 17 жовтня 1938 р. там же, у Миколаєві, був закладений ПМЗаг «Л-23»; 29.04.1940 р. він був спущений на воду і 31 жовтня 1941 р. увійшов до складу ЧФ [23]. 23 жовтня 1938 р. на заводі №198 ім. А. Марті був закладений ПМЗаг «Л-25» і 26.02.1941 р. спущений на воду, але не був добудований і 19.12.1944 р. під час буксирування до Севастополя у штормових умовах затонув поблизу м. Піцунда [25].

У лютому 1938 р., незважаючи на кадровий безлад, що виник у результаті масових репресій, була підготовлена «Програма будівництва бойових і допоміжних кораблів на 1938–1945 рр.», котра хоч і не була офіційно затверджена, мала ті ж недоліки, що й попередні, проте з невеликими змінами реалізовувалася фактично до кінця війни. 91,6% водотоннажності припадало на надводні сили і тільки 8,4% – на підводні човни [14, с.26–27].

Постановою РНК СРСР від 19.10.1940 р. «Про план військового суднобудування на 1941 р.» було внесено останню передвоєнну коректуру, згідно якої уточнювся і скорочувався обсяг надводного кораблебудування, скасовувалася закладка нових лінкорів, важких крейсерів, лідерів та ескадрених міноносців, натомість будівництво човнів набувало переваги. Протягом року планувалося закласти 36 (21 типу «С», 13 «М» нової XV серії та дві «Щ» Х-біс серії) та здати 40 субмарин [13, с.325; 15, с.16]. На заводі «Ім. 61 комунара» (№200) було побудовано для ЧФ 8 од. пч «Щ» Х серії [15, с.19].

Відтак, військове кораблебудування було переорієнтовано на нарощування легких надводних сил і підводних човнів. У 1940 р. чисельний склад підводних сил ВМФ СРСР у порівнянні з 1939 р. зріс на 27 од., а водотоннажність удвічі [7, с.172].

Разом із тим вище партійне і державне керівництво, проаналізувавши наявні резерви, вимагали від промисловості та ВМФ подальшого підвищення темпів зростання підводних сил. Зокрема, постанова ЦК ВКП(б) та РНК від 9 квітня 1941 р. вимагала скоротити затягнення введення до строю нових човнів, а саме, прийомно-здавальних випробувань, котрі часом тривали по півроку і більше, що призводило до передчасного спрацювання матеріальної частини. Було визначено конкретні скорочені терміни випробувань [7, с.174]. Утім, на відміну від виконання плану закладення, план здавання човнів виконувався лише частково. Так, навіть з урахуванням скорочення програм випробувань у другому півріччі 1941 р. вдалося ввести до строю 23 кораблі [13, с.326].

Загалом, з 1938 р. по 22 червня 1941 р. було закладено 100 підводних човнів. З початку Першої Світової війни 1 вересня 1939 р. до початку німецько-радянської війни від промисловості було отримано та

увійшли в стрій 42 субмарини. Усього ж за період з 1927 р. до 22 червня 1941 р. в РСРП було закладено 297 пч прибережного, морського та океанського типів з достатньо високими як на той час тактико-технічними характеристиками [7, с.174].

Загалом, протягом 1936–1941 рр. було закладено 139 підводний човен. За станом на 22 червня 1941 р. до строю увійшли 206 субмарин, на різних стадіях будівництва перебувало ще 95 човнів. При цьому суттєвим недоліком були недосконалість та відсталість від західних зразків в апаратурі шумопеленгування човнів та їх знешумленні [14, с.29].

Суттєві прорахунки в організації ремонтної бази призвели до того, що із 44 човнів на Чорному морі боєготовими були тільки 16 субмарин [14, с.32].

На початку 1930-х років розпочалася перша хвиля репресій в РСРП, яка безпосередньо вразила кадри кораблебудівників та офіцерського складу підводних сил. Першим етапом стало проведення т.зв. «партійних чисток».

Починаючи з 1936 р., розпочалися репресії серед інженерно-технічного та керівного складу кораблебудівних підприємств, що породило атмосферу страху, безініціативності та загальної недовіри [13, с.323]. У сукупності з недоліками в довгостроковому плануванні все це призвело до зриву термінів у будівництві бойових кораблів, зокрема підводних човнів.

Висновки.

Таким чином, узагальнюючи вищевикладене, слід зазначити, що в період між Першою та Другою світовими війнами в основу планування нарошування корабельного складу РСЧФ було покладено завдання, які мав виконувати флот у майбутній війні, проте недостатньо враховувалися економічні (вартість утримання) та виробничі (складності виготовлення) чинники. Певною мірою виробничий чинник ураховувався тільки під час формування погоджених із промисловістю щорічних планів із закладення та здавання кораблів. Це стосувалося і будівництва підводних човнів.

По-друге, чинником стабільного невиконання як довгострокових, так і щорічних планів стало ігнорування реального стану суднобудівної промисловості та нереальне планування, що, вочевидь, було зумовлено страхом перед репресіями. Суттєво впливали на недотримання планів та призводили до зривів програм будівництва човнів часті коректури керівництвом РСЧФ кількості і типів кораблів.

По-третє, головним напрямком відродження військово-морських спроможностей нашої держави в умовах триваючої збройної агресії Росії є поповнення Військово-Морських Сил Збройних Сил України (далі – ВМС) бойовими кораблями, зокрема, підводними човнами. З аналізу досвіду будівництва підводних човнів у міжвоєнний період на півдні України випливає, що Україна донедавна мала значний виробничий і технологічний потенціал, який би дозволив будувати на верфях Миколаєва підводні човни.

По-четверте, виходячи із сучасних реальних можливостей, серед напрямків вирішення проблеми відродження підводних сил ВМС ЗС України одним із найбільш дієвих може бути придбання субмарин за кордоном з подальшим ліцензованим будівництвом на корабельнях Півдня України.

Список літератури:

1. «АГ-23», ПЛ-16, «Невозмо́жный, «Шахтер» (бортовой номер 16, 2, 12, затем – 21), «А-1» тип «АГ» (Holland-602GF) // http://www.deepstorm.ru/DeepStorm.files/under_1917/ag/ag-23/ag-23.htm (дата звертання 25.11.2021).
2. Быховский И.А. Мастера потаенных судов. – М.: Военмориздат, 1950. – 94 с.
3. ДАМО, ф. Р-578, оп. 1, спр. 93.
4. ДАМО, ф. Р-578, оп. 1, спр. 801.
5. Державний Миколаївський ремонтний і корабельно-будівельний завод Морського відомства URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/> (дата звертання 25.11.2021).
6. Дмитриев В.И. Атакуют подводники. – М.: Воениздат, 1975. – 368 с.
7. Дмитриев В.И. Советское подводное кораблестроение. – М.: Воениздат, 1990. – 286 с.
8. Доценко В.Д. История военно-морского искусства. Т.1. Вооружения и теория. – М.: Изд-во Эксмо; Terra Fantastica, 2005. – 848 с.
9. Захар В.Р., Ничик Ю.М. Подводные силы Черноморского флота. Издание второе, дополненное и переработанное. – Севастополь: Рыбэст, 2012. – 688 с.

10. Зубов Б.Н. Развитие кораблестроения на юге России. – Калининград: Кн. изд-во, 1990. – 383 с.
11. Ковалев Э.А. Короли подплава в море червонных валетов. Хроника начального периода советского подводного плавания. 1918 – 1941 гг. – М.: ЗАО Центрполиграф, 2006. – 428 с.
12. Малярчук А.А. Верфь на Ингуле. – Л.: Судостроение, 1989. – 408 с.
13. Морозов М.Э. Советский подводный флот 1922–1945 гг.: О подводных лодках и подводниках / М.Э Морозов, К.Л. Кулагин. – М.: АСТ: Транзиткнига, 2006. – 877 с.
14. Морозов М.Э. Черноморский флот в Великой Отечественной войне. Краткий курс боевых действий / Мирослав Морозов, Андрей Кузнецов. – Москва : Яуза-пресс, 2015. – 448 с.
15. Морозов М.Э., Кулагин К.Л. «Щуки». Легенды Советского подводного флота. – М.: Коллекция, Яуза, ЭКСМО, 2008. – 176 с.
16. «Нерпа», ПЛ-20 «Политрук» (бортовой номер 20, 1, затем – 11), тип «Морж». URL: http://www.deepstorm.ru/DeepStorm.files/under_1917/morz/nerpa/nerpa.htm (дата звертання 25.11.2021).
17. Подводная лодка "Д-4". URL: <https://www.kchf.ru/ship/podlodki/d4.htm>. (дата звертання 25.11.2021).
18. Подводная лодка "Д-5". URL: <https://www.kchf.ru/ship/podlodki/d5.htm>. (дата звертання 25.11.2021).
19. Подводная лодка "Д-6". URL: <https://www.kchf.ru/ship/podlodki/d6.htm>. (дата звертання 25.11.2021).
20. Подводная лодка "Л-4". URL: <https://www.kchf.ru/ship/podlodki/l4.htm>. (дата звертання 25.11.2021).
21. Подводная лодка "Л-5". URL: <https://www.kchf.ru/ship/podlodki/l5.htm>. (дата звертання 25.11.2021).
22. Подводная лодка "Л-6". URL: <https://www.kchf.ru/ship/podlodki/l6.htm>. (дата звертання 25.11.2021).
23. Подводная лодка "Л-23". URL: <https://www.kchf.ru/ship/podlodki/l23.htm>. (дата звертання 25.11.2021).
24. Подводная лодка Л-24. URL: <https://www.kchf.ru/ship/podlodki/l24.htm>. (дата звертання 25.11.2021).
25. Подводная лодка Л-25. URL: <https://www.kchf.ru/ship/podlodki/l25.htm>. (дата звертання 25.11.2021).

26. Тип «А.Г.» (11 одиниць) // URL:
https://web.archive.org/web/20120207113040/http://www.morflot.tsi.ru/rus_flot_1696-1917/podlodki/ag.html (дата звертання 25.11.2021).

27. Тип "С" IX-бис серия (38+9 одиниць)
https://web.archive.org/web/20090504084110/http://www.morflot.tsi.ru/rus_flot_1696-1917/podlodki/type_c_9_bis_continue.html (дата звертання 25.11.2021).

28. Фурман І., Печенюк І. Військове кораблебудування Російської імперії на Півдні України в 1902 – 1917 роках // Воєнно-історичний вісник. – 2012. – №2(28). – С.115–125.

УДК 629.5.01.001.63

ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЕКТУВАННЯ МОРСЬКИХ ПІДВОДНИХ СИСТЕМ З ГНУЧКИМИ ЗВ'ЯЗКАМИ

***Автор:** Трунін К.С., к.т.н., доцент, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна*

Величезне значення для дослідження Світового океану мають морські прив'язні системи (МПС) як компонент морських підводних систем, що мають загальний елемент – гнучкий зв'язок (ГЗ), в якості якого виступають канати та троси, ланцюги та кабелі, кабель-троси, кабель-шлангові системи. Клас МПС дуже різноманітний і включає як прив'язні системи так і буксирувані, стаціонарні, опускні, автономні та інші.

Аналіз різних класів МПС з ГЗ показав, що існуючі в даний час конструкції МПС мають завищені масо-габаритні показники і матеріаломісткість, що впливає на водотоннажність і ТТХ суден-носіїв (СН) підводних систем, що буксируються (ПБС), веде до збільшення експлуатаційних витрат, зниження конкуренції на ринку даних конструкцій й у кінцевому підсумку – до зниження прибутків від реалізації, отже, і розроблених проектів МПС з ГЗ.

Науковою проблемою є те, що існуючі методи розрахунку та проектування конструкцій або є спрощеними і не враховують дійсні навантаження та характер навантаження ГЗ МПС (ППС та ПБС), або є до-

суть складними та громіздкими для конструкторів-проектантів і вимагають значних витрат часу для їх виконання.

Відповідно до цього сформульовано мету дослідження: вдосконалення теорії проектування морських підводних систем з гнучкими зв'язками шляхом урахування їх експлуатаційних характеристик на ранніх стадіях проектування.

Раніше суднобудівна галузь постійно вдосконалювалася завдяки новим машинам та механізмам, програмному забезпеченню. Суднобудування 4.0 (Мореплавання 4.0, Суднобудівне виробництво 4.0 та ін.), що базується на принципах Індустрії 4.0, покликане змінити виробничі системи. Для підвищення ефективності процесу проектування пропонується використовувати ідею залучення таких компонентів Суднобудування 4.0 масштабі реального часу, штучного інтелекту із залученням інструментів BIM-проектування (Business Information Modeling (Інформаційне моделювання – це цифрове представлення фізичних і функціональних характеристик об'єкта).

Об'єктом дослідження є МПС з ГЗ на прикладі ПБС. Предметом дослідження є процес вдосконалення теорії проектування МПС з ГЗ на основі обліку їх динамічних режимів при випадкових зовнішніх впливах як силової, так і кінематичної природи від качки судна та прив'язного об'єкта, а також процеси автоматизації проектування таких систем на основі застосування сучасних технологій «Суднобудування 4.0» та BIM-технологій (технології BIM базуються на віртуальній тривимірній моделі, що володіє реальними фізичними властивостями).

Завдання наукового дослідження:

- 1) аналіз сучасних вимог практики до експлуатації МПС з ГЗ та формулювання наукової проблеми вдосконалення їх проектування;
- 2) уточнення класифікації МПС, ППС, ПБС та ГЗ МПС як теоретичної основи для сучасних технологій їх проектування;
- 3) уточнення класифікації динамічних режимів експлуатації МПС;
- 4) уточнення класифікації аварій та аварійних режимів МПС з ГЗ;
- 5) розробка концепції вдосконалення проектування МПС з ГЗ на основі методології системного підходу, сучасних технологій «Суднобудування 4.0» та «BIM», що базуються на розробленій математичній моделі (ММ) динаміки МПС з ГЗ та дозволяє враховувати зовнішні фактори середовища, що впливають на експлуатацію ГЗ;

6) розробка ММ динаміки ГЗ як складової ММ динаміки МПС з ГЗ, що враховує зміни гідродинамічного опору ГЗ внаслідок експлуатації; квазістаціонарні режими експлуатації ГЗ та її динаміку;

7) синтез та практична апробація прикладного інструментального забезпечення (комп'ютерної програми) для автоматизованого проектування МПС з ГЗ, що використовує розроблені математичні моделі динаміки МПС з ГС та ГЗ МПС;

8) розробка методики вдосконалення проектування окремих компонентів МПС з ГЗ на основі удосконаленої теорії проектування МПЗ з ГЗ (розробка рекомендацій для проектанта та доведенням до інженерних методів розрахунку ГЗ).

Основні отримані результати:

1) проведено теоретичні дослідження з аналізу сучасних проблем створення МПС з ГЗ;

2) уточнено класифікації МПС, ППС, ПБС, ГЗ МПС, які створюють теоретичну основу для структуризації стану розвитку МПС та підкреслюють актуальність завдань дослідження та слугують основою для створення інформаційної бази даних для автоматизованого проектування МПС;

3) вперше розроблено ММ динаміки МПС з ГЗ, що є основою для створення комп'ютерної програми опису динаміки МПС з ГЗ [1];

4) вперше розроблено ММ динаміки ГЗ МПС, що враховує гідродинамічний опір ГЗ, зовнішні дії на ГЗ, розтяжність ГЗ, напруги вигину та крутіння в ГЗ [2, 3];

5) вперше розроблено концепцію вдосконалення проектування МПС з ГЗ, що дозволяє обґрунтувати процес удосконалення проектування МПЗ з ГЗ на ранніх стадіях дослідницького проектування з отриманням достовірних результатів та зменшенням усіх видів витрат [4];

6) вперше розроблено комп'ютерну програму моделювання динаміки ГЗ, що дозволяє враховувати від 54 до 67 параметрів МПС та ГЗ та їх зміни у процесі проектування МПЗ з ГЗ [2];

7) розроблено методику вдосконалення теорії проектування МПС з ГЗ, що базується на використанні спеціального моделюючого комплексу та дозволяє відмовитись від використання фізичного моделювання режимів експлуатації МПС з ГЗ, пов'язаного з проведенням на-

турних випробувань у відкритому морі, що дає суттєву економію фінансових, матеріальних та людських ресурсів [5];

8) уточнено інженерні методи розрахунків ГЗ МПС шляхом урахування експлуатаційних навантажень на ГЗ, розтяжність ГЗ, напруги вигину та крутіння в ГЗ.

Теоретичне значення дослідження полягає у розробці системного підходу до вдосконалення проектування МПС з ГЗ з урахуванням їх експлуатаційних факторів, що дозволяє аргументувати зміни, які необхідно внести в існуючі методи проектування МПС з ГЗ, механізм взаємодії ГС з окремими елементами МПС та порядок обґрунтування теорії вдосконалення проектування МПС з ГЗ.

Наукова новизна результатів полягає у вдосконаленні теорії проектування МПС з ГЗ, що базується на розроблених математичних моделях динаміки МПС з ГЗ та ГЗ МПС, з урахуванням їх експлуатаційних характеристик, як теоретичної основи для розробки вискоєфективних МПС з ГЗ на стадії дослідницького проектування.

Висновки. Запропонована методика вдосконалення проектування МПС з ГЗ, заснована на використанні ММ динаміки ГЗ МПС та МПС з ГЗ, дозволяє досліджувати різні режими експлуатації практично всіх класів МПС з ГЗ на відміну від існуючих методів та використовувати її як методику для інженерних розрахунків. З її допомогою можна розробити рекомендації щодо прогнозування можливих експлуатаційних навантажень для проектування елементів МПС з необхідними властивостями та параметрами.

Надалі планується розширювати використання інформаційних моделей у процесі вдосконалення проектування МПС з ГЗ шляхом удосконалення спеціального моделюючого комплексу стосовно нових завдань дослідження МПС як складової ВІМ-проектування. Його використання передбачає збирання та комплексну обробку всіх необхідних даних.

Список літератури:

1. V. Blintsov, K. Trunin. Construction of a mathematical model to describe the dynamics of marine technical systems with elastic links in order to improve the process of their design / *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* ISSN 1729-3774 /1/9 (103), 2020, UDC 629.5.01.001.63, DOI: 10.15587/1729-4061.2020.197358. pp. 56-66, p. 74.

2. Трунин К.С. Гибкие связи в морских привязных системах. Монография. Николаев: издательство Торубары Е.С.; издательство «Наваль», 2019. 536 с.

3. Трунін К.С. Математична модель динаміки морської прив'язної системи з урахуванням впливу згинальної жорсткості гнучкого зв'язку. *Shipbuilding & Marine Infrastructure*, DOI [https://doi.org/10.15589/smi2021.1\(15\).1](https://doi.org/10.15589/smi2021.1(15).1). Судостроение и морская инфраструктура, №1(15), 2021. DOI [https://doi.org/10.15589/smi2021.1\(15\).1](https://doi.org/10.15589/smi2021.1(15).1). С. 4–23.

4. V. Blintsov, K. Trunin. Improving the designing of marine tethered systems using the principles of Shipbuilding 4.0. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* ISSN 1729-3774 #1/13 (109), 2021, UDC 629.5.01.001.63, DOI: 10.15587/1729-4061.2021.225512. pp. 35-48.

5. Трунін К.С. Застосування спеціального моделюючого комплексу для проектування морських прив'язних систем з гнучкими зв'язками. *Збірник наукових праць НУК*, №1. 2021. DOI [https://doi.org/10.15589/znp2021.1\(484\).2](https://doi.org/10.15589/znp2021.1(484).2). С. 3–13.

РОЗВИТОК ОСНОВОПОЛОЖНИХ ЗАСАД СТРАТЕГІЇ МОРСЬКОЇ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ: ПРІОРИТЕТИ НАБУТТЯ НЕОБХІДНИХ СПРОМОЖНОСТЕЙ

Автор: Яким'як С.В., к.в.н., доцент, капітан 1 рангу, начальник кафедри Військово-Морських Сил Національного університету оборони України, м. Київ, Україна

Вступ. Аналіз досвіду забезпечення національної безпеки України на морі у 2014-2021 роках свідчить про подальше зростання рівня небезпек, загроз та викликів морській безпеці держави та недостатню ефективність реагування на них [1, 2]. Важливою проблемою залишається відсутність основоположного документу з питань забезпечення національної безпеки на морі – стратегії морської безпеки, що обумовлює актуальність досліджень з визначення основоположних засад у галузі морської безпеки України та опрацювання структури та основних складових змісту такого стратегічного документу держави.

Метою роботи є визначення загальних напрямків розвитку основоположних засад морської безпеки держави, структури стратегії морської безпеки, визначення поняття національна морська ідея, структури національних цінностей на морі та загальних рекомендацій щодо подальшого розвитку теорії морської безпеки.

Виклад основного матеріалу дослідження. У ході триваючої збройної агресії РФ проти України накопичено значний досвід реалізації заходів із забезпечення національної безпеки України на морі. Водночас, слід наголосити, що в теперішній час **стан забезпечення національної безпеки** України на морі є критичним та характеризується наявністю значних проблем в частині, що стосується:

захисту економічної діяльності на морі;

забезпечення воєнної безпеки на морі;

захисту критичної інфраструктури в умовах гібридних дій на морі;

забезпечення розвитку системоутворюючих складових військово-морського потенціалу України, зокрема підсистеми підготовки кадрів, науково-дослідних установ, виробничих підприємств, зокрема кораблебудування та виробництва нових зразків морської техніки та озброєння.

Ключовою проблемою в галузі керівництва морською безпекою є **відсутність офіційно затверджених і введених в дію стратегічних поглядів (стратегії)** забезпечення морської безпеки України та планів (програм) заходів з їх реалізації.

Водночас, слід зазначити, що протягом останнього часу на рівні держави було проведено низку важливих заходів з вирішення вказаної вище проблеми, зокрема:

у вересні 2021 року створено міжвідомчу робочу групу з розроблення Стратегії морської безпеки України;

7 грудня 2021 року на засіданні робочої групи під головуванням Секретаря Ради національної безпеки і оборони України розглянуто проєкт Стратегії та рекомендовано винесення його на погодження та подальший розгляд в Офісі Президента України.

За підсумками проведених досліджень, зокрема аналізу іноземних стратегій, наукових праць та досвіду реалізації державної морської політики, у тому числі реалізації положень Морської доктрини Украї-

ни на період до 2035 року (редакцій 2009 та 2018 років), вітчизняними фахівцями було визначено таку доцільну **структуру стратегії морської безпеки** держави:

загальні положення;

загрози морській безпеці;

мета, принципи та завдання забезпечення безпеки;

механізми реалізації, розподіл повноважень, оцінювання ефективності виконання завдань.

На підставі проведених досліджень запропоновано, що у загальних положеннях Стратегії мають бути визначені:

основні поняття у сфері морської безпеки;

чинники, які обумовлюють важливість морів для України;

національні інтереси України на морі;

У розділі Стратегії щодо загроз морській безпеці доцільно викласти:

внутрішні небезпеки, загрози і виклики, зокрема: відсутність моніторингу та скоординованості роботи державних органів, занепад морської галузі та ін.;

зовнішні небезпеки, загрози і виклики, зокрема: збройна агресія РФ, міжнародний тероризм, піратство, екологічні проблеми та ін.

У наступному розділі Стратегії окрім мети забезпечення морської безпеки слід викласти основні принципи і напрямки (сфери, галузі) діяльності із забезпечення морської безпеки, а також:

основні завдання та заходи забезпечення морської безпеки за відповідними галузями та напрямками;

напрямки та завдання з розвитку спроможностей, необхідних для забезпечення морської безпеки, зокрема зі створення підводної техніки та проведення морських досліджень.

У розділі Стратегії, що стосується механізмів реалізації, розподілу повноважень, оцінювання ефективності виконання завдань, слід викласти додатково питання щодо порядку аналізу та доповіді Президенту України результатів реалізації Стратегії та систему показників для оцінювання ефективності забезпечення морської безпеки.

Серед основоположних понять у галузі забезпечення національної безпеки на морі (морської безпеки) ключовою первинною категорією

є, безумовно, поняття національної морської ідеї. Це термін у середині 90-х років XX століття розглядався низкою вітчизняних і закордонних вчених, експертів. У 2018 році у межах науково-дослідної роботи, виконаної колективом кафедри Військово-Морських Сил Національного університету оборони України на замовлення Командування ВМС ЗС України, було опрацьовано підходи до цього поняття.

За підсумками проведених досліджень було запропоновано наступне: **“Національна морська ідея** – складова Української національної ідеї, деталізує її в частині, що стосується розуміння ролі морських просторів для української нації і держави в минулому і майбутньому, визначає виключно важливе значення морського середовища для забезпечення безпеки, зростання добробуту та прогресивного розвитку української нації й України як морської держави”

На підставі декомпозиції поняття національної морської ідеї та досвіду діяльності націй і держав на морі було визначено, що до основних **національних цінностей України на морі** відносяться такі:

володіння Україною морськими просторами, що прилягають до її сухопутної території;

вільний доступ України до ресурсів Світового океану;

свобода використання Україною морських просторів та океанів відповідно до норм міжнародного морського права.

Наступним важливим поняттям у сфері розвитку держави на морі та морської безпеки є поняття національних інтересів України на морі. Вони витікають з національних цінностей на морі та деталізують їх в конкретний історичний період. У Морській доктрині України на період до 2035 року у редакції 2018 року наведено таке визначення національних інтересів України на морі: “національні інтереси України на морі – сукупність матеріальних та інтелектуальних потреб українського народу і держави у сфері морської діяльності, що реалізуються на основі морського потенціалу”.

В сучасних умовах до **основних національних інтересів України на морі** відносять такі:

захист суверенітету та територіальної цілісності України на морі, зокрема її територіального моря, внутрішніх морських вод, їх дна і надр та повітряного (повітряного-космічного) простору над ними;

захист суверенних прав України у виключній (морській) економічній зоні і на континентальному шельфі України щодо розвідки, розробки і збереження природних ресурсів, як живих, так і неживих, тих, що знаходяться на дні, в його надрах і в покриваючих водах, управління цими ресурсами, виробництва енергії шляхом використання води, течій і вітру, створення і використання штучних островів, установок і споруд, морських наукових досліджень, збереження морського середовища;

забезпечення вільного доступу України до визначених районів Світового океану та його ресурсів, свободи відкритого моря, що включає свободу судноплавства, польотів, рибальства, наукових досліджень, прокладання підводних кабелів і трубопроводів, забезпечення функціонування життєво важливих морських комунікацій України;

забезпечення охорони людського життя на морі та запобігання забрудненню морського середовища;

створення сприятливих умов для економічної, політичної та інших видів діяльності України на морі.

Виходячи з аналізу процесів людської діяльності, зокрема на морі, та аналізу праць провідних теоретиків з питань розвитку націй, держав та забезпечення їх безпеки, визначено, що забезпечення морської безпеки держави є складовою діяльності щодо її розвитку. Тобто, розвиваючись у певних історичних рамках, кожна нація і держава повинна вживати не тільки заходів із забезпечення приросту добробуту, але й забезпечення власного захисту. З огляду на зазначене, стратегія морської безпеки держави повинна опиратися та виходити з цілей та завдань розвитку держави на морі (з використанням морських ресурсів). Тобто, держава повинна мати національну морську стратегію, яка в комплексі висвітлює питання розвитку і забезпечення безпеки на морі.

За поглядами фахів кафедри Військово-Морських Сил Національного університету оборони України **національна морська стратегія держави** – це складова національної стратегії (стратегії національного розвитку і забезпечення національної безпеки), сукупність положень щодо стратегічних цілей, напрямків, завдань та заходів реалізації

національних інтересів на морі. Як відомо, в теперішній час саме у Морській доктрині України на період до 2035 року викладені основи національної морської стратегії.

Для здійснення ефективних заходів із забезпечення морської безпеки слід мати у державі власну стратегію морської безпеки, яка повинна базуватися на положеннях національної морської стратегії, стратегії національної безпеки, стратегії воєнної безпеки. В ній повинні визначатись чіткі завдання із забезпечення національної безпеки в діяльності на морі в економічній, політичній, воєнній та інших сферах. Вказані завдання повинні використовуватись міністерствами і відомствами як їх цілі під час формування власних стратегій діяльності. Загальний контроль за виконанням Стратегії повинен залишатись за Президентом України, як посадовою особою, на яку покладені функції щодо забезпечення національної безпеки держави, зокрема в морському просторі.

Висновки

1. За підсумками проведеного аналізу визначено, що в теперішній час в умовах збройної агресії проти України важливою проблемою у практичній діяльності керівництва держави є відсутність основоположного документу з питань забезпечення національної безпеки на морі – стратегії морської безпеки.

2. На підставі проведених досліджень запропоновано доцільну структуру стратегії морської безпеки держави та визначено її основні складові. Окрім того, запропоновано основний зміст вказаних розділів.

3. Одним з основоположних понять в галузі розвитку нації і держави з використанням морських ресурсів та забезпечення національної безпеки на морі запропоновано мати поняття “національна морська ідея” як складову Української національної ідеї. Вказана складова визначає виключно важливе значення морського середовища для забезпечення безпеки, зростання добробуту та прогресивного розвитку Української нації й України як морської держави. На підставі цього поняття зроблено декомпозицію та визначено національні цінності на морі.

4. Ефективність реалізації Стратегії морської безпеки залежить від обґрунтованості її положень, правильно визначеного розподілу повноважень та контролю за її виконанням.

Список літератури:

1. Стратегія національної безпеки України, затверджена Указом Президента України від 14 вересня 2020 року №392/2020.
2. The White Book of the Anti-terrorist Operation in the East of Ukraine in 2014-2016 / Ivan Rusnak, Vitaliy Bydnyy, Sergiy Segeda, Stepan Yakymyak and etc. – Kyiv: MOD of Ukraine, National Defence University of Ukraine, 2017. – 162p.

СЕКЦІЯ 2. ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ТА АВТОМАТИКА ПІДВОДНИХ СИСТЕМ І КОМПЛЕКСІВ

MOTION CONTROL OF ROBOTIC ARM MANIPULATOR

Author: Fang Wei, student, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Scientific adviser: Ivan Biliuk, PhD, Associate Professor, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

The Robot technology is widely used in many areas of life like, in industrial applications, space, sensing and monitoring technologies, computer design, control and automation, mechanical designing, practical math, man machine interface.

A robot manipulator is a programmable, multipurpose manipulator that is used to move about different types of objects, parts, items or special devices through changeable programmed movements to perform different types of tasks [1].

Manipulator is a mechanism of rigid arms which consists on a series of segments, mostly sliding or jointing, called cross-slides, which grip and move objects by different degrees of freedom. Also, it is an electronically controlled mechanism, where each segment has to perform different functions by interacting with its workspace. They are also commonly called as robotic arms. The study and the research of robot manipulators mostly deals with orientations and positions of the different sections that build up the robotic manipulators [2].

They are mainly consists on an assembly of links, joints and end-effector.

Links – these are the rigid parts of the manipulator. Joints – it is part of the mechanism that connects the two links with each other. Joints permit controlled or limited relative motion between the links. End Effector – it is the part of the manipulator, which interacts with its workspace to perform various tasks.

Motion control of the robot manipulator is always a matter of high concern for the designers because manipulators have different number of inputs and outputs, nonlinear and time varying dynamics. Various control techniques have been adapted to overcome this issue over the years. Each of them has its own advantages and disadvantages.

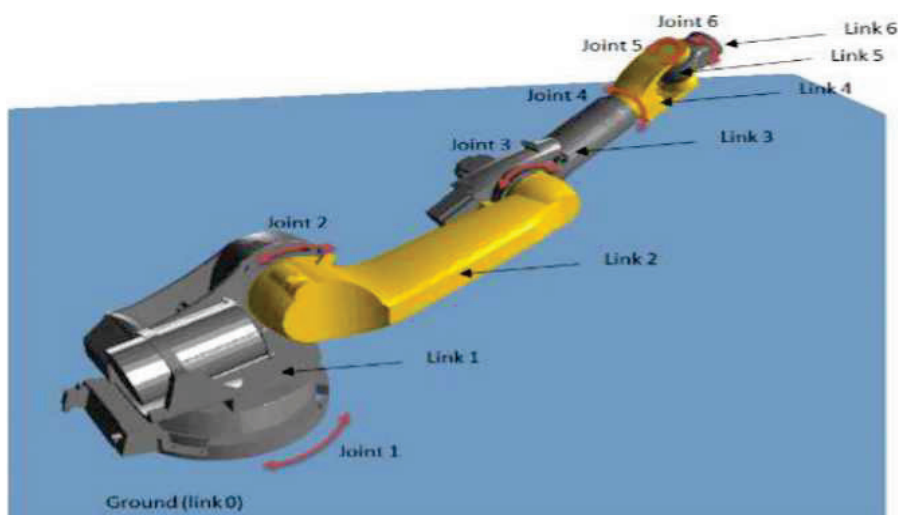


Figure 1 – Different parts of robotic manipulator

The extensive use of robotic manipulator for various applications is the real source of motivation to present a control methodology that can better cater the problems associated with manipulators to achieve good performance.

Here, we will implement two different control techniques for position or movement control of a robotic arm manipulator.

That is proportional integral derivative (PID) and sliding mode technique.

PID control is the simplest of all control techniques used for the motion control of robotic manipulators. It has K_p , K_i and K_d parameters which are selected manually to achieve desired control performance. It has good trajectory tracking or error tracking response, better convergence time to achieve stability. In contrary to this, the sliding mode being robust nonlinear control methodology provides more better performance than the PID control.

The task of my research is to conduct a comparative analysis of these control techniques, as a result of which a reasoned choice of the most optimal method will be made.

References:

1. R. Kelly, V. S. Davila, and J. A. L. Perez, Control of robot manipulators in joint space. Springer Science & Business Media, 2006.
2. M. W. Spong and M. Vidyasagar, Robot dynamics and control. John Wiley & Sons, 2008.

UDC 629

**OVERVIEW OF TECHNICAL SPECIFICATIONS OF CONTROL
PANELS OF UNDERWATER REMOTE OPERATED VEHICLES**

***Author:** Lin Zilin, student, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine*

***Scientific adviser:** Voitasyk A.M., PhD, associate professor, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine*

The range of tasks to which modern underwater equipment can be involved is quite wide. Starting with the simple implementation of search and inspection tasks and ending with the implementation of complex manipulation operations with technological equipment [1]. The effectiveness of any underwater technical work depends on the technical capabilities of remote operated vehicles (ROV) used and the method of its management [2, 3]. Each individual underwater system, which includes an underwater vehicle and control panel, can have its own design and functional features. Let's look at some examples of such systems that are currently available to users in the market for purchase and subsequent use.

The first version of the underwater system is presented by THOR Robotics with a sample of the ROV "Trenchrover110" (Fig. 1). The main directions of its application can be search and research of fish species, study of marine flora and fauna, support of diving dives, mapping of the area. Also, it is worth noting its technical feasibility of water sampling and determination of its quality.

These underwater vehicles are able to work on point objects in the underwater environment. To do this, they are equipped with four electric propulsion devices. Two of them are located in the horizontal plane to perform marching, reversing movement, as well as changing the trajectory of movement to the left or right. Two more devices are located in the vertical



Figure 1 – Underwater system with self-propelled ROV "Trenchrover110"

plane and are able to provide deepening and ascent of the ROV. TAmong the main technical characteristics of the product we can note: weight 4,2 kg, overall dimensions 60x200x200 mm, speed of electric motors 8000 rpm, two LED lamps of 300 lumens, battery power 12 V and 2 A·h type NI-MH, speed 0,77 m/s, length of optical communication cable between the device and the control panel up to 30 m, working depth of immersion 30 m, 4K format video camera. A separate membrane-type sensor is used to determine the depth of immersion / ascent of the ROV.

This is underwater vehicle with tether-cable. Its control information and power supply are connected by cable. It's much more stable than a wireline autonomous underwater vehicle (AUV), and it can do much more work and it can receive and respond to commands without delay [4, 5]. But it is also limited by the length of the cable, and the depth it can dive depends on the length of the cable.

All equipment on the ROV is connected by cable to the ground control station from the control station to the controller, display screen and other equipment. The control station is the center of a complete underwater robot system.

The second version of the underwater system is presented by QYSEA with a sample of the underwater vehicle "FIFISH PRO V6 PLUS" (Fig. 2). The main directions of its application can be ship inspection, aquaculture, water conservancy and hydropower station detection, underwater pipeline detection, underwater photography.



a) b)
Figure 2 – Underwater system with self-propelled
ROV "FIFISH PRO V6 PLUS":
a) – ROV; b) – Control panel

This is underwater vehicle dont have cable. It's a built-in battery. It is connected to the control station via wireless Bluetooth and GPS links [6-8]. It requires built-in wireless reception or a long antenna. Generally, the terminals are linked to the software of the computer or mobile phone system, through which the controller, display, lighting and other devices are integrated and controlled.

Its biggest disadvantage is remote control because the impact of water and environment is very bad, it requires autonomous pathfinding work which makes development difficult and uncontrollable.

Among the main technical characteristics of the product we can note: weight 5 kg, overall dimensions 383x331x143 mm, 6 electric propulsion devices allow horizontal, vertical and lag movement of the device, two LED lamps of 6000 lumens, battery power 12 V and 52 A·h type Li-ion with the possibility of current charging via cable communication, speed 1,65 m/s, the length of the communication cable between the device and the control panel up to 350 m, the working depth of immersion 150 m, 4K

video camera. ROV have sensors high precision 3D electronic compass, depth gauge, temperature and humidity sensor.

This ROV is have AR scaler – based on machine vision and Laser ruler – based on traditional laser measurement QYSEA patent AR scaler's precision is up to 1cm. Self-adaptive measurement and visualized data are visible on FIFISH APP. By moving the scaler and customizing color of scaler, with one simple click you can save the measuring result.

VR Head tracking intelligent technology is QYSEA patent design which can let user fully immersive into underwater world. With the Head Tracking feature, put yourself into the drone's first-person-view and control where you want to go simply by turning your head.

The third version of the underwater system is presented by ROBOSEA with a sample of the underwater vehicle "ROBO-ROV" (Fig. 3). The main direction of its use in the field of precise control of underwater equipment and underwater fixed-point observation.



Figure 3 – Underwater system with self-propelled submarine "ROBO-ROV":
a) – ROV; b) – Control panel

Among the main technical characteristics of the product can be noted: weight 28 kg, dimensions 510x490x400 mm, 6 electric propulsion devices provide horizontal (4 devices), vertical (2 devices) and lag movement of the

device, two LED lamps of 2000 lumens, battery power 12 V and 216 A·h type Li-ion with the possibility of current charging via cable communication, speed 2,1 m/s, length of communication cable between the device and the control panel up to 750 m, working immersion depth 300 m, video camera format 1080HD. ROV have sensors high precision 3D electronic compass, depth gauge, temperature and humidity sensor.

Considering the existing samples of underwater systems, we can make a generalization that the control panel of the ROV is one of the main components of the underwater system whose main purpose:

- providing power to ROV from the battery power supply (optional);
- obtaining and processing telemetry data from ROV;
- receiving, storing and processing video information from a video camera installed on ROV;
- formation of control influences for executive mechanisms of ROV [9, 10].

Both conventional displays and specialized display devices can act as information display devices. The latter are usually connected to the modules of telemetry data processing and information exchange.

In the case of analog video cameras, the information exchange module between the ROV and the control panel can be built on the basis of the use of a video recorder, which acts as an analog video signal converter from the video camera to the digital form with which the display device is compatible. Also, this module can be assigned the function of recording video signals to the user media. The complete set of the information exchange module depends on the characteristics of the video camera installed on ROV. ROV controls can be specialized controls and / or gamepads such as gamepads or gyroscopic VR glasses.

Conclusions

As part of the master's thesis, it is proposed to develop a control panel with the processing of visualization of information from sensors and automation of performance monitoring. The application of development will allow to perform underwater technical works with the use of underwater vehicles equipped with a sufficient number of modern information sensors. However, in further work on this topic, it is planned:

1. Calculations of the main energy parameters and design characteristics of the respective components of the ROV and control panel.
2. Selection of components of the ROV electrical equipment and control panel.
3. Development of a 3D model of its design with a detailed description of technical decisions.

References:

1. Blintsov O.V., Burunina Zh. Yu., Voitasysk A.M. (2018) Refining the classification of underwater missions performed using underwater complexes with flexible connections. «Shipbuilding and Marine Infrastructure». № 1(9). P. 36-43. doi: 10.15589/SMI.2018.01.05
2. A.M. Plotnik and S.M. Rock (2007) "A multi-sensor approach to automatic tracking of midwater targets by an ROV," in Proceedings of the AIAA.
3. Zhijie Tang, LuoJun and Qingbo He (2010) A Fuzzy-PID Depth Control Method with overshoot Suppression for Underwater Vehicle, LSMS/ICSEE 2010, Part II, LNCS 6329, pp 218-224.
4. J.V. Morató and S. G. Castro (2007), "Autonomous Underwater Vehicle Control," in Instrumentation ViewPoint.
5. Cieslak, P., Ridao, P., & Giergiel, M. (2015). Autonomous underwater panel operation by GIRONA500 UVMS: A practical approach to autonomous underwater manipulation. In 2015 IEEE international conference on robotics and automation, vol. 2. ISBN: 978-1-4799-6923-4, (pp. 529–536). IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/ICRA>
6. J.C. Kinsey, R.M. Eustice, and L.L. Whitcomb (2006), "Underwater Vehicle Navigation: Recent Advances and New Challenges," Proc. IFAC Conf. on Manoeuvring and Control of Marine Craft, Lisbon, Portugal, In Press.
7. Muhammad Azhar B Abd Aziz, S. Mohamad Shazali B S. Abdul Hamid, M.Shahrieel M.Aras (2011) Development of Wireless System For Data Transfer On Underwater Vehicles Application. UTeRG, Department of Mechatronics University Technical Malaysia Melaka.
8. Yuh, J. (2000). Underwater robotics. In Proceedings 2000 ICRA millennium conference. IEEE international conference on robotics and au-

tomation. symposia proceedings, Cat.No.00CH37065, vol. 1. ISBN: 0-7803-5886-4, (pp. 932–937). IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/ROBOT.2000.844168>.

9. Toal, D., Omerdic, E., & Dooly, G. (2011). Precision navigation sensors facilitate full autopilot control of Smart ROV for ocean energy applications. In 2011 IEEE SENSORS proceedings (pp. 1897–1900). (ISSN:1930-0395). <http://dx.doi.org/10.1109/ICSENS.6127381>.

10. Omerdic, E., Toal, D., Dooly, G., Miller, L., & Coleman, J. (2012). Smart ROV LATIS in action: Sea trials. IFAC Proceedings Volumes, (ISSN: 1474-6670) 45(5), 281–286. 3rd IFAC Workshop on Navigation, Guidance and Control of Underwater Vehicles

UDC 629.58

ANALYZE OF HARDWARE CONTROL SYSTEM FOR UNDERWATER VEHICLES

Author: *Wu Liming, student, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine*

Scientific adviser: *Sirivchuk A.S., PhD, supervisor, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine*

Relevance. The development and application of underwater vehicles is an important part of marine technology research. It has important theoretical research significance and clear application background for the exploration, development and utilization of the ocean, and it also has a high military status. The control system is the core content of the vehicles design [1]. The control system hardware, that is, the hardware components or equipment in the control system, is a concept corresponding to the control system software.

Control system hardware, that is, the hardware components or equipment in the control system. In small control systems, it mainly refers to control chips, peripheral circuits, small motors, sensors, etc. Much attention is paid to optimizing the construction of hardware control systems [1-5], because the capabilities of an underwater vehicle depend on them.

Objective this work is review of function and configuration of hardware control system.

Main part. The hardware controller system is the control center of the entire computer system. It directs the various parts of the computer to work in a coordinated manner to ensure that the computer operates and processes in an orderly manner in accordance with the predetermined goals and steps.

Function of hardware control system:

- organize and execute mission plans and command campaigns;
- handle the request of the detection and navigation system, and adjust the task accordingly;
- control the status of airborne equipment and fuselage systems, as well as the external environment to ensure the safety of underwater work;
- organize the work of airborne equipment according to "tasks";
- collect information;
- conduct preliminary tests on airborne equipment and check loading tasks;
- it communicates with the computer on the ship and the control station [1].

The organizational core of the basic system is the main computer, which provides motion control, control and search functions. The control process cannot be deconstructed on the basis of internal division, but can be deconstructed on the basis of the expected external performance of the robot control system.

The remote control unmanned underwater vehicle control system (fig. 1) is composed of the support vessel control subsystem and the underwater vehicle control subsystem. The support vessel control sub-system includes the console, task manager, status display unit, video display unit and optical transceiver.

The main control system includes optical transceiver, main control planning computer, motion control, navigation system, control system for other measuring equipment. Among them, navigation and positioning equipment mainly includes, depth sensor, altimeters, inertial navigation equipment (which can provide position, attitude, heading and other information), Payload Equipment mainly refers to detection sonar, camera and lighting equipment. Control system for other measuring equipment want be includes manipulators, side scan sonar, magnetometer, thickness gauge etc.

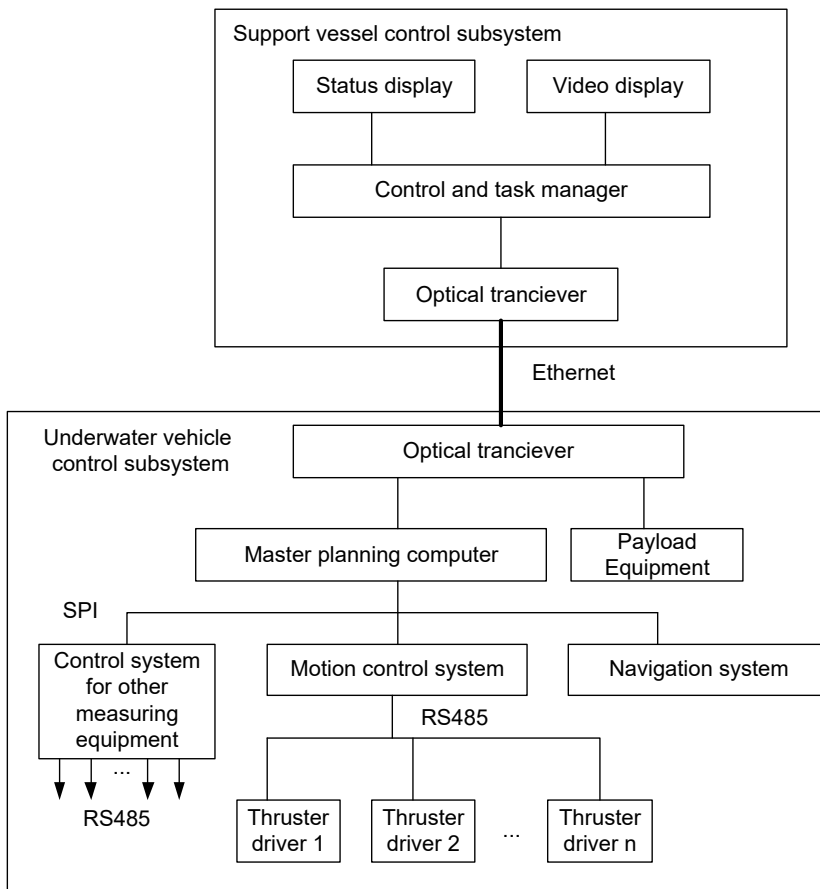


Figure 1 – The control system structure of unmanned underwater vehicle

The support vessel control subsystem and the underwater vehicle subsystem of this control system adopt the connection form of Ethernet. Because of the high transmission rate and large amount of information, the image information collected by the unmanned underwater vehicle can be fed back in real time. SPI have next advantages: faster than asynchronous serial, the receive hardware can be a simple shift register, supports multiple peripherals, but have short communication lines. RS485 have high reliabil-

ity, long communication lines, very widespread, which provides a large selection of ready-made peripherals devices.

To sum up, in this system scheme, the unmanned underwater vehicle adopts a distributed control strategy, and each actuator adopts an independent field controller to complete its own state detection and action control, and through a unified The bus is connected to the central control unit. At the same time, the central control unit detects the status of the sub-system through the digital channel, and issues appropriate control instructions, and finally controls the on-site controllers through the digital channel to achieve corresponding operations.

Conclusion

The distributed control system of the unmanned underwater vehicle based on the RS485 bus has high reliability, good scalability and strong anti-interference ability, thus ensuring the stability and accuracy of the speed, depth and heading control system of the unmanned underwater vehicle Requirements, and laid a technical foundation for the realization of small unmanned underwater vehicles.

References:

1. Агеев М. Д., Киселев Л. В., Матвиенко Ю. В. Автономные подводные роботы: системы и технологии; Ин-т проблем морских технологий, М.:Наука, 2005, 398 с.
2. Вельтищев В., Кропотов А., Николев Е. Информационно-управляющая система необитаемого подводного аппарата, *Современные технологии автоматизации*, 1997, 46-49 сс.
3. Изнарцев А, Львов О. Бортовые вычислительные сети автономных подводных роботов, *Современные технологии автоматизации*, 2005. №2 ,68-69 сс.
4. Inzartsev A. V., Underwater Vehicles, Vienna. Austria. 2009, 594 p.
5. Инзарцев А.В., Львов О.Ю., Сидоренко А.В., Архитектурные конфигурации систем управления АНПА. *Подводные исследования и робототехника*, 2006. №1, 18-30 pp.

UDC 629.584

MODELING OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF AN AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLE AS A GROUP “AGENT”

Author: Xu Zheng, student, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Scientific adviser: Aloba Leo Tosin, PhD, Senior Lecturer, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Autonomous underwater vehicles, (AUVs) belong to the group of underwater self-propelled free-swimming high efficient kind of marine robotics and are widely used for exploratory and diagnostic projects in the full range of the oceans' depths and are effective tools for carrying out a wide range of marine search, survey, oceanography, environment, exploration, marine gas and oil industry, mine operations, etc. [1]. An example can be seen on Fig. 1.

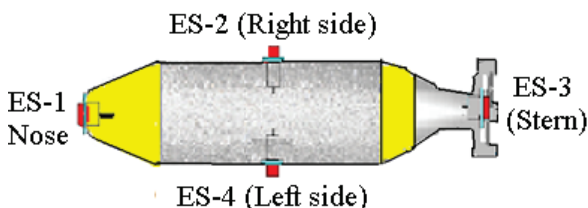


Fig. 1. Autonomous underwater vehicle. (ES – Environmental sensor)

The AUVs can be equipped with state-of-the-art scientific sensors to measure oceanic properties, or specialized biological and chemical payloads to detect marine life when in motion. The increase of underwater operations and the AUV technical characteristics continuous improvement stimulate new direction of their application to coordinate application in large water areas. AUVs provide efficient maritime works, high search operation productivity and maximum reliability of the received data about the underwater environment due to the time-parallel measurement of the parameters.

One of the effective technologies for conducting unmanned maritime underwater missions, with the growing need for the highest efficiency and

maximum productivity of underwater search operations, is the group application of the AUVs, which guarantees the high reliability and speed of underwater operations of large areas with minimal time expenditure over the use of a single AUV. [1].

When using one giant AUV, its losses are brought by the failure of the entire mission. Many tasks are performed very easily and quickly when the group vehicles work together to achieve the task. The automation task consists in automatic control of a single AUV as an agent of the group and automatic control of the AUV group. Thus, the relevant applied scientific task of control automation of each individual AUV as an agent of the AUV group is the synthesis of an intelligent automatic control system in group transition modes (ACS GT). Such a system should eliminate collisions or an excessive increase in the distance between adjacent AUVs moving in close proximity to each other, which can cause a threat of extinction and disintegration of the group and ensure that the group performs underwater work in an accident-free environment.

The AUVs group application efficiency improvement is based on a mathematical model, intellectualization of the functional ACS of the group AUVs, the navigation method and the ability of the group AUVs to implement accident-free coordinated spatial motion, and prevent collisions of the neighboring AUVs or an excessive increase in the distance between them as a threat to the disappearance of communication and the disintegration of the group.

The AUVs in the group are divided into two categories based on capabilities – leader, equipped with high-precision navigation systems to support AUV group and having global knowledge of the desired environment and followers, having only sensory abilities to find positions of neighboring AUVs without any global knowledge of the desired environment.

The AUV group is a distributed structure of simple AUVs that use the self-organization principles. Individual AUVs are mostly large, expensive, and require complex hardware. However, a group of small AUVs is cost-effective, operates more reliably than a single AUV, individual AUVs have lower equipment requirements, which reduces the maintenance costs, possesses fault tolerance, scalability and flexibility. Given these benefits, the degree of autonomy of each AUV in the group should be high.

In modern scientific literature, the problem of AUV navigation is divided into global navigation, which involves planning a path that leads the vehicle to a given point in the underwater space, and local navigation, which is subordinate to the global and ensures the trouble-free motion of an individual AUV in a group.

To provide an example of a typical AUV scheme with respect to the neighboring AUVs in a specific mission, it is assumed that a team of robotic vehicles are deployed on a survey, track and search mission for sunken objects. Synthesis of intelligent automatic control system of one of the AUVs will be carried out as a group agent. In Fig. 2, the AUV1 is the research object and around it are the neighboring AUVs, which can cause threats to it, when too close, and to avoid a collision, it has to be maneuvered right or left, depending on which side any of the neighbors appear.

The task is based on the sensor readings, it is necessary to evaluate where and from where the threats arise and evaluate not only statically but in dynamics.

Knowledge of linear, nonlinear and stable or unstable system properties requires the synthesis of the ACS – controller. The simultaneous application of several jointly operating AUVs requires the creation of high-quality control systems for the propulsion and steering complexes (PSC) of the AUV, which must ensure the trajectory motion of underwater vehicles with a given accuracy and allow group coordinated motion.

AUV ACS includes a block for modeling the external navigation environment and a block for identifying navigation threats. The task of synthesizing a block for modeling the navigation situation as an element of the control system for an AUV is a relevant applied scientific objective (task).

To model the behavior of AUV groups, it is proposed to use the concepts of multi-agent systems [2] for AUV group control – how the collective behavior of a multi-AUV system arises from the interaction of a local AUV-AUV and AUV-environment on motion control algorithms that are built using the theory of artificial intelligence with the borrowing of the laws of functioning of biological systems of living nature [3].

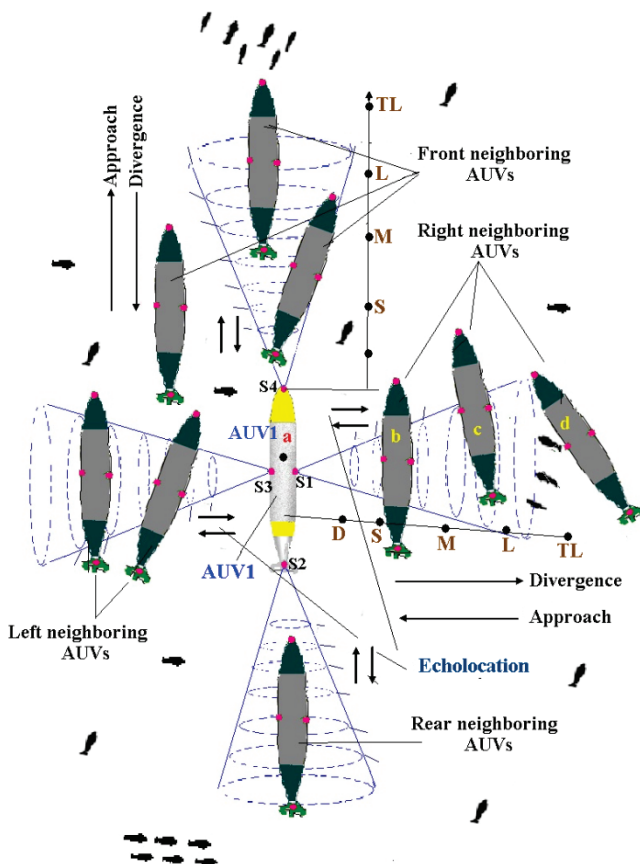


Fig. 2. Typical AUV scheme with respect to the neighboring AUVs in a specific mission.

AUVs are used in two main application modes: single and group navigation. The problem of modeling the external navigation situation is relevant for both modes, but it is most difficult to solve for the case of group control, because the neighboring vehicles can create very rapidly changing threats that must be detected in a timely manner in an automatic mode, proactively and deviate from them.

Assuming the vehicles are controlled only in the horizontal plane and there is no vertical motion maneuver or is rarely used in an emergency, when in-plane maneuvers are insufficient for the safe motion of the AUV and as a forced motion to avoid collisions with neighboring AUVs. Since the uncertainty in automation usually increases with the increase in the functional hierarchical level, the capabilities of fuzzy logic approaches naturally increase with higher levels. Fuzzy control at the basic level can be attractive for processes in which only qualitative knowledge is available and there are highly nonlinear properties, or if the management of people is simulated.

The simulation model structure is developed taking into account the peculiarities of the interaction of the AUV elements by connecting the inputs and outputs of the modules that simulate the individual elements of the AUV components (Fig. 2). The mathematical model consists of the AUV basic law of dynamics model and mathematical models of hydrodynamic effects (HDE), mathematical models of the tail fins (TF) as part of the vertical and horizontal steers, and the propulsion device, which form a mathematical model of the propulsion-steering complex (PSC), the model of the influence of the gravity and buoyancy forces (GBF). The functional scheme of the AUV mathematical model can be shown in Fig. 3.

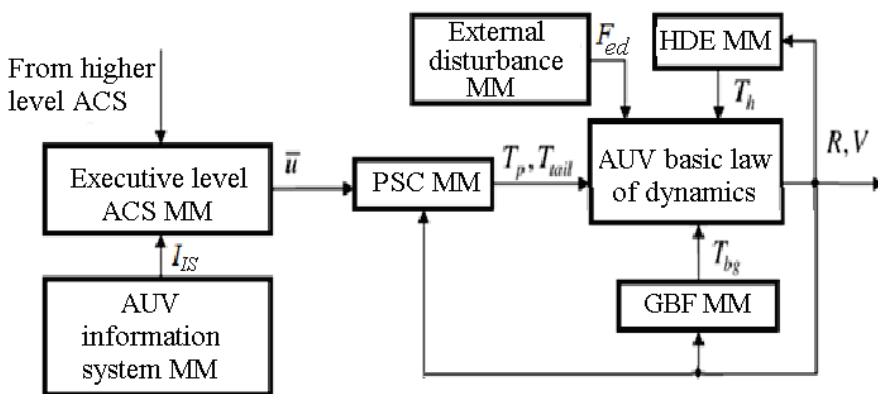


Fig. 3. The functional scheme of the AUV mathematical model

The AUV control influence is a vector unit $\bar{u}$, the signals of which enter the PSC model input and determine the magnitude of the driving force and the angles of rotation of the TF elements, thereby carrying out the AUV controlled motion in space. The matrix elements of the forces and moments T , i.e. the vectors $\vec{F}$ and $\vec{M}$ are formed by the superposition principle:

$$T = T_h + T_{gb} + T_{tail} + T_p, \quad (2.31)$$

where: T_h – matrix of hydrodynamic (viscous) forces and moments; T_{gb} – matrix of forces and moments of gravity and buoyancy; T_{tail} – matrix of TF forces and moments; T_p – the matrix of GB forces (and for the moments general case).

The mathematical model and ACS structure for the single AUV motion as a group "agent" in the conditions of navigational proximity of other AUVs, designed to study the efficiency of the laws of AUVs accident-free motion during the performance of underwater search missions, are proposed.

Within the framework of the task of controlling a group of AUVs, the ACS synthesis by their coordinated motion is relevant. During the motion, it is necessary that each AUV maintains a safe distance from the neighboring vehicles in a given range of distances, when the minimum distance between them does not pose a threat of an emergency collision (adhesion mode). And the maximum distance guarantees the safety of the group and does not threaten the departure of a separate AUV from the field of view of the sensors of other members of the group (cohesion mode) [4].

Basically, the rightful group control method should be chosen to make less energy spent the operations. Therefore, the use of fuzzy logic provides an approach to the design of the necessary control system (fuzzy control), and guarantees the possibility of solving a wide range of problems in which the data, goals and constraints are too complex or vaguely defined and, therefore, do not lend themselves to precise mathematical description.

A continuous linear PD controller $y(t) = K_p \varepsilon(t) + K_d \frac{d\varepsilon(t)}{dt}$ can be replaced by a fuzzy controller that is similar in strategy and control logic, if the value of the control action $y(t)$ is considered as its output variable.

$$y(k) = K_p \varepsilon(k) + K_d \Delta \varepsilon(k)$$

Thus, for input variables and output $y(t)$, a fuzzy controller can be synthesized that implements the nonlinear law $y(t) = F[\varepsilon(t), \Delta \varepsilon(t)]$ and is equivalent to the PD controller [3].

The control system mathematical model development for the AUV maneuvering motion, implemented on the principles of fuzzy algorithms, is currently a very relevant task.

For the work coordination of the "agents" (a set of underwater vehicles (objects) that perform a joint mission), the following control system has been developed. This system consists of two main regulators: the distance regulator which controls the distance between the agents and the course regulator.

The course controller, in turn, receives a control signal and a signal from the course sensor at the input. At the output, the course controller generates a control signal for the propulsion and steering complex, which consists of an independent excitation direct current electric motor and a propeller in the steering nozzle [5].

Therefore, the development of a mathematical model for the study of the AUV maneuvering motion, implemented on the principles of fuzzy logic, is currently a very important task.

One of the main tasks of controlling the AUV group is to ensure the mode of coordinated motion of vehicles along a predetermined course or trajectory. In this case, it is important to maintain the modes of adhesion and cohesion [4].

To coordinate the work of "agents" performing a joint mission, a control system is proposed, which has the following structure (see Fig. 4).

This system consists of two main regulators: a regulator that controls the distance between agents, and a course regulator. In steady state, a single AUV moves with the course ψ_g and speed v_x given to the group. The mathematical modeling of the developed control system is performed in the Simulink system of the Matlab environment. Fig. 5 shows a block diagram of the ACS, which allows studying the operation of the AUV in conjunction with the agent, deviated from the specified course.

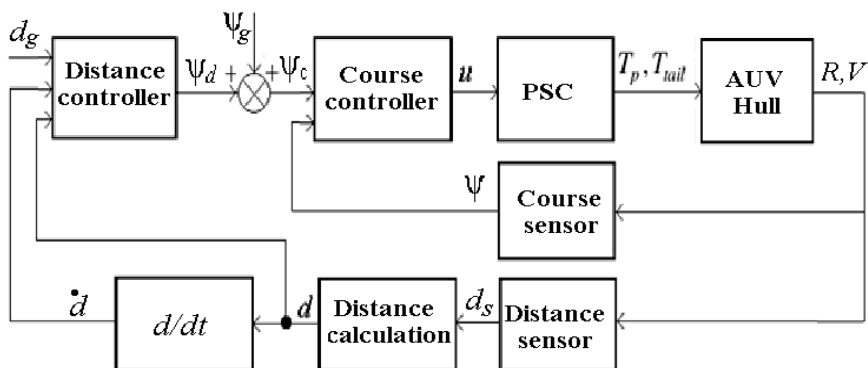


Fig. 4. Block diagram of the motion ACS of a single AUV as a group "agent", in conditions of navigational proximity of other AUVs.

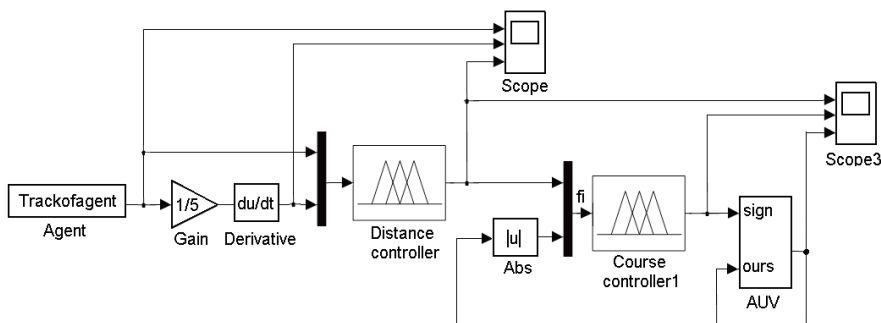


Fig.5. Block diagram of AUV ACS, implemented in the Simulink system

If one of the neighboring AUVs changes its course and begins starts moving away or approaching another "agent", the sensors of our AUV detect and record changes in motion conditions and its regulators produce a new, temporary, trajectory.

The block of distance sensors of our AUV forms many distances $d_g = [d_1 \ d_2 \ d_3 \ d_4]$ to the nearest target. The distance to the target is determined by the expression:

$$\begin{cases} d = (d_{\min 1} + d_{\min 2}) / 2; \\ d_{\min 1} = d_i \mid_{|d_i - d_{i+1}| \rightarrow \min}; \\ d_{\min 2} = d_{i+1} \mid_{|d_i - d_{i+1}| \rightarrow \min}, \end{cases}$$

where $d_{\min 1}$, $d_{\min 2}$ – indicators of a pair of distance sensors, the difference of values of which is minimal, m ; $i = 1..3$.

The mathematical modeling of the developed control system was carried out in the Simulink system of the Matlab environment.

Fig. 5 presents a structural diagram of the ACS, which allows exploring the operations of its own AUV in conditions of navigational proximity of other AUV-neighbors, which deviate from the given course.

The developed mathematical model allows keeping the control object at some distance from the established AUV neighbor.

The AUV ACS summarizes the calculated recommendations, using them as corrective signals for generating control actions $\{\Delta\varphi; \Delta v; \Delta H\}$ on the AUV actuating mechanisms (Executive Mechanism, EM) – the steering wheel is steered (the controlled value is the rudder angle α), the marching propulsion device (the controlled value is the thrust on the longitudinal axis F_x) and, in emergency cases, its vertical propulsion device (the controlled value is the thrust on the vertical axis F_z).

The aforementioned control influences applied to the AUV hull, cause the appearance of the actual variables of the spatial motion of our AUV – $\{\varphi_f; v_f; H_f\}$, which are used as feedback signals in the automatic control system of the underwater vehicle, AUV ACS.

The AUV self-organization procedures for creating a group in practice determines the AUV group architecture based on the objectives of the task for which they are created (in this case, for search), and also take into account the environment in which it will work. In architecture designing, information about the number of AUVs to work with a task and the type of control used (in this case, in decentralized control) is equally important for the architecture designing.

References:

1. D. Bingham, T. Drake, et.al.. (2021). The Application of Autonomous Underwater Vehicle (AUV) Technology in the Oil Industry – Vision

and Experiences. *Hydrographic Surveying II*. Pp 1-13.
https://www.fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/fig_2002/Ts4-4/TS4_4_bingham_etal.pdf

2. Sujil, A., Verma, J. et.al. (2018). Multi agent system: concepts, platforms and applications in power systems. *Artif Intell Review*. 49. p. 153–182 <https://doi.org/10.1007/s10462-016-9520-8>

3. P Kaliraj, T. Devi. (2021). Artificial Intelligence Theory, Models, and Applications. *Auerbach Publications*. 506 Pages.

4. Aloba Leo Tosin. (2019). Synthesis of intelligent automatic control system of an autonomous underwater vehicle as a group agent.// [Tekst]/L. T. Aloba “*Shipbuilding and Marine Infrastructure*” – Миколаїв : NUK. №1 (11). pp. 74-84. [https://doi.org/10.15589/smi2019.1\(11\).9](https://doi.org/10.15589/smi2019.1(11).9)

5. С. В. Блінцов, Г. С. Грудініна, Л. Т. Алоба. (2017). Математичне моделювання динаміки автономного підводного апарата на плоскій циркуляції. *Збірник наукових праць НУК*. – Миколаїв : НУК. – № 4. – С.53-60. <http://eir.nuos.edu.ua/xmlui/handle/123456789/4054>

UDC 629.58:629.051

THE IMPROVEMENT OF GPS/INS INTEGRATED NAVIGATION SYSTEM DESIGN FOR UNDERWATER ROBOTS

Author: *Xue Chenglei, student, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine*

Scientific adviser: *Klochkov O. P., Ph.D., Associate Professor, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine*

The inertial navigation system and Global Positioning System are used for control movement of underwater vehicle such as tethered underwater vehicle (remote operated vehicle – ROV) and autonomous underwater vehicle (AUV). These systems more critical and need for AUV because it has not cable-tether (CT) compared to ROV.

The inertial navigation system (INS) is a completely autonomous navigation approach for definite orientation object in water. It does not need to receive external information and does not radiate any information. It has good short-term accuracy and stability, but the navigation accuracy diverges with time [1].

The Global Positioning System (GPS) is a three-dimensional real-time satellite positioning system. Navigation and positioning are global and high-precision, and the error does not accumulate over time, but the signal is susceptible to interference.

Inertial navigation and global positioning systems are very complementary in terms of navigation principles, error characteristics and output characteristics. Therefore, this is based on the actual working environment of underwater robots. The problem of the robot's own jitter, the design of the GPS/INS integrated navigation system for the underwater robot [2].

The underwater robot system is a kind of robot system that can sense its own state and the state of the underwater environment through a sensing system, and realize the autonomous movement of the target in a complex environment, so as to complete a specific task function. The research content of underwater robots covers a wide range, including key research areas such as positioning and navigation, path planning, target recognition, map construction, and multi-sensor information fusion. The subjects involved include sensor technology, computer technology, electronic information technology, automatic control technology, and manual technology. Important subject areas such as intelligent technology are an important demonstration of the development of science and technology, and have important research significance and value. In some special jobs, the harsh working environment can cause harm to people's bodies, and the emergence of robots can replace people to complete some tasks safely and reliably in high-risk environments, reduce people's work difficulty, and improve work safety.

The problem of positioning and navigation of underwater robots refers to obtaining information through sensors, obtaining the robot's motion state, and telling the operator the underwater position of the robot and the current driving posture and speed. The research on navigation technology started earlier, and with the rapid development of computer technology, optimal estimation technology and modern control technology and other related basic field technologies, navigation technology has also achieved rapid development and has developed into an important national infrastructure technology. An important direction of strategic technology research has important strategic functions and economic benefits.

The INS works according to the information generated by itself and does not need to communicate with the outside world. It is a completely autonomous navigation method, and navigation is not restricted by the environment. Because it is not disturbed by the outside world, the data generated by the inertial navigation is stable and can maintain high accuracy in the initial short period of time. Due to the performance advantages of inertial navigation systems, INS have been widely used in related fields involving navigation technology, including military fields, aerospace, civil vehicles, and mobile robots.

The advantage of GPS is that the accuracy is maintained within a certain range for a long time, the accuracy will not diverge over time, and it has stable navigation performance.

Since the INS mainly uses integral solution, the error term generated will accumulate over time. If no correction is taken, the accuracy will diverge over time. In an application environment that requires continuous navigation work, the accuracy of inertial navigation will not be guaranteed. However, the improvement of the accuracy of a single INS often requires improvement in hardware, and the cost of hardware research and development is relatively high, and the performance improvement is limited.

It is difficult for the GPS to directly provide attitude information, and the data update rate is low, the frequency band is narrow, and the signal is susceptible to interference. When the vehicle moves at a high speed, the GPS signal is easily lost, causing the navigation system to fail.

An INS usually consists of two parts, namely an inertial measurement unit (IMU) and a navigation solution unit (NSU). The IMU belongs to the hardware part. It is usually composed of three mutually orthogonal accelerometers and three gyroscopes fixedly connected to the accelerometers. It can output acceleration and angular velocity in three directions. The NSU belongs to the software part. A good software program or method calculates motion information such as attitude, speed, and position [3]. The principle of inertial navigation belongs to the category of classical mechanics and is applicable to all mass bodies, so inertial navigation can be applied to all application environments. The INS works according to the information generated by itself and does not need to communicate with the outside

world. It is a completely autonomous navigation method, and navigation is not restricted by the environment. Because it is not disturbed by the outside world, the data generated by the inertial navigation is stable and can maintain high accuracy in the initial short period of time.

The GPS is a high-precision real-time satellite positioning system composed of ground receiving stations and satellites. It is required that no less than 4 satellites with an angle of 15 degrees or more can be simultaneously observed in every place on the earth. This requires an even distribution of 24 satellites in 6 orbits. The information sent by GPS satellites to the ground includes time information, positioning information, and some necessary commands and instructions.

The comparison of the characteristic of INS and GPS demonstrates in tab. 1.

Table 1 – GPS and INS feature comparison

No.	Characteristic	INS	GPS	Compared
1.	Principles of navigation	No need for external information no radiate information	High-precision real-time satellite positioning system Rely on receiving external satellite signals for positioning and navigation	Complementary
2.	Error characteristics	Good short-term stability, short-term accuracy High, poor long-term stability	Global, high precision, long-term error Stabilize	Complementary
3.	Output characteristics	Output position, speed, bearing Various navigation parameters such as attitude	Usually only output position and speed	Complementary
4.	Shortcoming	Error diverges over time	The signal is susceptible to obscuration and interference	

It can be seen that they are very complementary in navigation principles, error characteristics and output characteristics. Therefore, the use of GPS/INS can compensate for their respective defects and improve the accuracy and reliability of navigation. Therefore, GPS/INS integrated navigation can be used to solve the navigation problem of the underwater robot in this article in a complex environment [4, 5].

The research purpose of this abstract is to obtain the GPS/INS of underwater robot under special environment. In view of the existence of GPS signal interference and self-vibration in the working environment of underwater robots, it is difficult for a single navigation system to meet the working requirements. Utilizing the complementarity of the navigation characteristics of the GPS and the INS, the Kalman filter algorithm is used for data fusion, and the hardware platform and software system based on Digital signal processing (DSP) are designed to obtain a GPS/INS combination that has better navigation accuracy and reliability than a single subsystem Navigation System.

References:

1. NS – Inertial Navigation System. URL: <https://www.sbg-systems.com/inertial-navigation-system-ins/> (Дата звернення: 16.11.2021)
2. Шишкин, А. В., Купровский, В. И., Кошевой, В. М. Глобальная морская система связи для безопасности мореплавания: учеб. пособие, 4-е, пер. и доп. Одесса: ОНМА, 2003. 296 с.
3. Shen Z, Georgy J, Korenberg M J, et al. Low cost two dimension navigation using an augmented Kalman filter/Fast Orthogonal Search module for the integration of reduced inertial sensor system and Global Positioning System [J]. Transportation Research Part C, 2011, 19(6).
4. Wang W, Liu Z-Y, Xie R-R. Quadratic extended Kalman filter approach for GPS/INS integration [J]. Aerospace Science and Technology, 2006, 10(8) : 709 – 713.
5. Crassidis J L. Sigma-point Kalman filtering for integrated GPS and inertial navigation[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2006, 42(2) : 750 – 756 pp.

УДК 681.5

СТРУКТУРА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ МАЛОРОЗМІРНИМ БЕЗЕКІПАЖНИМ НАДВОДНИМ СУДНОМ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ЗОВНІШНІХ ЗБУРЕНЬ

Автор: Бурунін А.П., аспірант, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Вступ.

Безекіпажні надводні судна (БНС) – це судна, які здатні рухатися поверхнею води без наявності екіпажу на борту [1-3]. На сьогодні кількість діючих зразків такої техніки досить велика. Розглянемо найбільш відомих світових представників БНС.

До теми БНС проявляти інтерес ще під час Другої світової війни. Досить відомим німецьким дроном тих часів була самохідна міна «Голіаф», керована дистанційно і здатна нести до 100 кг вибухових речовин. У 1944 році були виготовлені і перші радіокеровані брандери *Ferngelenkte Sprengboote*.

Сучасний стан розробки БНС розглянемо на прикладі типової мобільної надводної роботизованої системи (МНРС) для проведення операцій по висвітленню обстановки й моніторингу стану акваторії (рис. 1).



Рисунок 1 – Типове безекіпажне надводне судно

Судно має наступні характеристики:

габарити (довжина, ширина, висота корпусу) – $8.2 \text{ м} \times 3.0 \text{ м} \times 3.45 \text{ м}$;

радіус застосування – до 300 миль;

автономність плавання – до 7 діб;

сумарний запас ходу при швидкості до 9 вузлів – до 500 миль;

максимальна швидкість ходу – 23 вузла;

морехідність – до 4 балів;

вантажопідйомність – до 500 кг.

Призначення й області застосування судна:

охорона акваторії й забезпечення морської безпеки;

протимінна й протичовнева боротьба;

підводна картографія;

пошуково-рятувальні роботи;

робота в небезпечних зонах (у т.ч. у районах техногенних катастроф і стихійних лих).

Склад МНРС:

безекіпажний катер – носій змінних модулів цільового навантаження;

мобільний пункт дистанційного керування, обробки даних і зв'язку.

Склад штатного спеціального устаткування МНРС:

гідролокатор бортового огляду ГБО 300 КГЦ (до 150 м);

гідролокатор бічного огляду ГБО 700 КГЦ (до 50 м);

комбінована оптико-електронна система (ТВ, ТПВ камери).

Основана частина. Метою роботи є розробка узагальненої структури системи автоматичного керування курсом малорозмірного БНС за умов невизначеності зовнішніх збурень (силових впливів на корпус судна, обумовлених дією вітру та хвиль, а також дією морської течії).

Система автоматичного керування (САК) курсом БНС складається з приладу керування, який зазвичай є автокермовим, кермового привода з керуючим органом – кермом, корпусу БНС як об'єкта регулювання, а також із каналом зворотного зв'язку (рис. 2).

Вхідним сигналом в системі керування є заданий курс $K_{\text{зад}}$. Вихідним сигналом в системі є кут перекладки керма δ . Зовнішні збурення, які діють на судно, представлені параметром F . На вході блока формується сигнал заданого значення кута β . За допомогою блока

вимірювача курсу формується сигнал $K_{гк}$. Даний сигнал визначає коригувальну складову зворотного зв'язку ψ , яка формується відповідно до заданого значення курсу, тобто $\psi = K_{зад} - K_{гк}$.

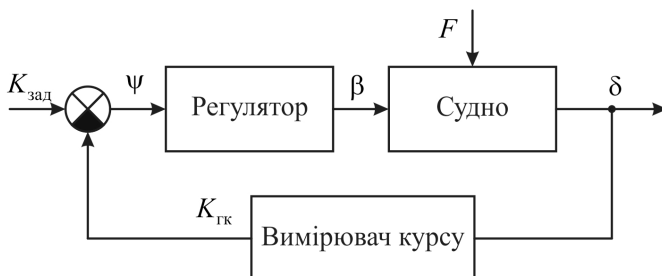


Рисунок 2 – Пристрій автокермового пристрою малорозмірного БНС

Вимірником курсу у системі стабілізації є гірокомпас. Для досягнення задовільних якостей стабілізації використовуються коригувальні сигнали за швидкістю та інтегралом кута рискання (рис. 3).

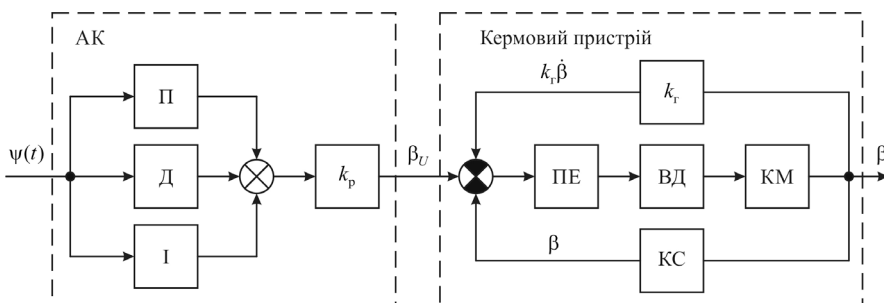


Рисунок 3 – Блок схема регулятора курсу малорозмірного БНС

Регулятор стабілізації курсу є авторегулятором і кермовим приводом.

В даний час у різних автокермових (АК) реалізують пропорційно-інтегрально-диференціальний закон керування. Тому АК може бути представлений у вигляді трьох ланок: П – пропорційної; І – інтегральної; Д – диференціальної.

У кермовий привод у загальному випадку входить: ПЕ – підсилюючий елемент; ВД – виконавчий двигун; КМ – кермова машина; КС – кермовий сенсор.

Підсилюючий елемент охоплений жорстким β і гнучким $k_r \dot{\beta}$ зворотними зв'язками і утворюють систему слідкувального кермового керування. Жорсткий зворотний зв'язок формує кермовий привод у системі стеження, а гнучкий зворотний зв'язок запобігає появі коливань у кермовому приводі при відпрацюванні зазначеної перекладки керма.

Призначення компонентів керуючого сигналу при стабілізації курсу:

1) Пропорційна куту рискання компонента

$$\beta_\lambda = C_\lambda \cdot \psi.$$

Якщо з'являється відхилення від курсу, це викликає пропорційну перекладку керма, яка повертає МРО до заданого курсу. Збільшення коефіцієнта C_λ скорочує час повернення МРО до курсу при відхиленнях від нього, але збільшує коливання системи.

2) Диференційна компонента

$$\beta_d = C_d \cdot \dot{\psi}.$$

Вона необхідна для затухання коливань системи «регулятор – МРО». Для МРО, нестійких на курсі, вона забезпечує структурну стабільність системи стабілізацію курсу та необхідну якість перехідного процесу, а для МРО, які стійкі на курсі, вона виконує тільки другу функцію.

3) Інтегральна компонента

$$\beta_i = C_i \int \psi dt.$$

Необхідна для усунення статичної помилки, викликаной постійною складовою M_c моменту зовнішніх сил M , яка прагне розвернути МРО в одному напрямку.

При функціонування САК малорозмірного БНС враховуються наступні невизначеності:

вектор F_{wl} вітрової дії на корпус БНС;

вектор F_{W2} хвильової дії на корпус БНС;

вектор F_{W3} дії течії на корпус БНС.

Для урахування цих впливів та компенсації похибок курсового руху БНС, обумовлених їх наявністю, у роботі пропонується до складу САК БНС увести спеціалізований обчислювач O_{CAK} , який містить математичну модель динаміки БНС та математичні моделі збурюючих впливів F_{W1} , F_{W2} та F_{W3} .

Основне призначення обчислювача O_{CAK} – визначення компенсуючи сил, які мають бути створені автокермовим пристроєм малорозмірного БНС, та обрахування сигналів керування від САК, які мають компенсувати вказані збурення.

У доповіді розглядаються варіанти побудови обчислювача O_{CAK} та попередні результати комп'ютерного експерименту щодо функціонування САК БНС, до складу якого уведено такий обчислювач.

Висновки.

1. На прикладі БНС Elbit Silver Marlin (Ізраїль) виконано огляд сучасних зразків безкіпажних надводних суден з описом їх функціональних можливостей. Розглянуто конструкцію кермових пристроїв з роз'ясненням принципів їх дії.

2. Наведено структурну схему системи автоматичного керування курсовим рухом безкіпажного надводного судна з представленням компонентів керуючого сигналу на базі класичних регуляторів керування.

3. Розглянуто варіант удосконалення САК БНС, виконане шляхом уведення до її складу спеціалізованого обчислювача, який містить математичну модель динаміки БНС та математичні моделі збурюючих впливів.

Список літератури:

1. Joel Coito. Maritime Autonomous Surface Ships: New Possibilities—and Challenges—in Ocean Law and Policy. Published by the Stockton Center for International Law. Volume 97, 2021. 49 Pages. <https://digital-commons.usnwc.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2955&context=ils>

2. The Future is Now: Unmanned and Autonomous Surface Vessels and Their Impact on the Maritime Industry. Benedict's Maritime Bulletin December 2017. <https://www.blankrome.com/publications/future-now-unmanned-and-autonomous-surface-vessels-and-their-impact-maritime-0>

3. Zhixiang Liu, Youmin Zhang, Xiang Yu, Chi Yuan. Unmanned surface vehicles: An overview of developments and challenges. Annual Reviews in Control. Volume 41, 2016, Pages 71-93. <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2016.04.018>

УДК 629

ЛІЧИЛЬНИК КАБЕЛЮ ВІДЕОКАМЕРИ ДЛЯ ІНСПЕКЦІЇ СВЕРДЛОВИН

Автор: Гончаров Д.В., магістрант, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Науковий керівник: Бабкін Г.В., к.т.н, доцент НУК, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Промислова електроніка використовується в різних галузях народного господарства, науки і техніки. Поряд з тенденцією автоматизації технологічних і виробничих процесів на базі обчислювальної техніки, сучасна промислова електроніка стала найбільш поширеною. Базовою системою будь-якої сучасної автоматичної системи управління виробничим процесом, є система автоматичного контролю, що дозволяє отримувати вимірювальну інформацію про режимних параметрах процесів.

Науковою основою систем автоматичного контролю є різні принципи вимірів параметрів технологічних процесів, а технічною базою цих систем служать засоби вимірювань і перетворень відповідних параметрів, пристрої для автоматизації виробничих процесів, що містять в собі ряд елементів, службовців для вимірювання параметрів процесу. Цим елементом автоматичної системи є датчик. В даний час датчики розробляються в багатьох дослідних і дослідно-конструкторських організаціях. Безліч фахівців, у своїй роботі, стикається з вибором конкретних датчиків.

Різноманітність технологічних процесів призводить до необхідності мати широкий вибір датчиків, які повинні відповідати вимогам, характерним для всіх пристроїв автоматики. Вони повинні мати: високу чутливість, точність, швидкодія, надійність, міцність, порівняно малі розміри і т.д.

Одним із видів підводної техніки є занурювальні відеоканери для

оглядових та інспекційних робіт у водоймах, усередині трубопроводів та свердловин.

В даний час рядом фірм виготовляються різні типи занурювальних камер, що мають широкий спектр технічних характеристик і можливостей.

Особливістю вимог технічного завдання створення відеоустановки були:

З вимог ТЗ виконувався вибір кабелю передачі сигналу. Аналіз кабелів, що серійно виготовляються, показав, що комбіновані кабелі для передачі інформаційних сигналів і напруги живлення не задовольняють вимогам ТЗ по ряду показників. Моноблочні кабелі мають діаметр не менше 14 мм і максимально допустиме зусилля на розтяг не більше 8 кг, а кабелі з вантажонесучим тросом мають двох блочну конструкцію і призначені для підвісних конструкцій, тобто. не призначені для багаторазового намотування/змотування на кабельний барабан. Найбільш підходящими для використання виявилися два типи кабелів: волоконно-оптичний кабель та посилений коаксіальний кабель. Обидва типи кабелів мають малі діаметри від 6 до 6.7 мм і мають зміцнюючі синтетичні волокна або струмопровідні жили.

Остаточний вибір типу кабелю здійснювався при аналізі обладнання передачі відеосигналу по коаксіальному і по волоконно-оптичному кабелю. В ході аналізу проводилася оцінка характеристик медіаконверторів, що серійно випускаються, ІР-камер і відеокамер з аналоговим вихідним сигналом. В результаті було зроблено вибір типу кабелю на користь коаксіального, оскільки апаратура для волоконно-оптичного кабелю не дозволяє виконати корпус опускної відеокамери, що задовольняє вимогу ТЗ мінімального діаметра свердловини (68 мм).

Надалі виконувався вибір обладнання камери та розробка її конструкції. Вибрано відеокамера VB21ЕН. Підсвічування виконане кільцевим світильником із групи світлодіодів, розташованих навколо об'єктива відеокамери. Для того, щоб у воді не відбувалося засвітлення відеокамери, ілюмінатори об'єктива та світильника розділені і мають світлонепроникну перегородку. Для компенсації втрат при передачі сигналу на велику відстань використано комплект приймачів-передавачів відеосигналу SI-105. Оскільки в кабелі відсутні додаткові жили для передачі електроживлення, камера використовувала автоно-

мне джерело живлення у вигляді батареї Ni-Mh акумуляторів. Місткість батареї забезпечує автономну роботу камери не менше 2 годин. Увімкнення живлення здійснюється при підключенні роз'єму кабелю. Через цей же роз'єм здійснюється зарядка акумуляторної батареї. У корпусі камери встановлено індикатор розряду батареї.

Для передачі сигналу вибрано коаксіальний кабель RG-59 PVC. Особливістю даного кабелю є те, що центральна жила виготовлена зі сталевого дроту, що забезпечує кабелю допустиме зусилля розтягування до 222,5 Н.

Для роботи з кабелем спроектовано лебідку з керованим електроприводом постійного струму. Електропривод забезпечує спуск та підйом камери зі швидкістю від 0 до 0,6 м/с. Це забезпечується мотор-редуктором потужністю 100 Вт. Лебідка виконана у вигляді візка.

Камера опускається в свердловину через блок, встановлений на телескопічній стрілі, довжиною 1м, що дозволяє виконувати спуск камери вертикально над горловиною свердловини.

На стрілі встановлений датчик лічильника витраченого кабелю БІК-3 з точністю вимірювання 1 см. Серійний блок вимірювання був доопрацьований з його поєднання з ПЕОМ, в якій здійснюється накладення значення лічильника на відеозображення.

Список літератури:

1. Бабкін, Г. В. Прив'язна відеокамера для інспекції технічного стану свердловинних джерел води. [Текст] / Г. В. Бабкін, В. С. Блінцов, Д. В. Костенко // Проблеми автоматики та електрообладнання транспортних засобів (ПАЕТЗ-2012): Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю. – Миколаїв : НУК, 2012. – С. 112–114.
2. Бабкин, Г. В. Видеоустановка для инспекции скважин [Текст] / Г. В. Бабкин // Підводна техніка і технологія (ПТТ-2012): Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю. – Миколаїв : НУК, 2012. – С. 5–7.

УДК 629.5

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ШВИДКІСТЮ РУХУ АНПА

Автор: Грудініна Г.С., Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Математичну модель прямолінійного руху автономного ненаселеного підводного апарату, моделювання якої проводилось в MATLAB, було доповнено оптимальним за швидкодією регулятором швидкості руху АНПА, що надало можливість стабілізувати швидкість апарата та підтримувати її з максимальною точністю [1]. Однак, для виконання багатьох важливих місій, в яких застосовуються АНПА, важливо підтримувати стабільну швидкість апарату при криволінійному русі.

Огляд науково-технічної літератури [2-3] свідчить, що попри добре вивчені питання математичного моделювання динаміки АНПА, питання роботи РРК у скошеному потоці води залишається актуальним.

Метою роботи є удосконалення системи стабілізації швидкості плоского криволінійного руху АНПА шляхом урахування нелінійної залежності упору гребного гвинта від кута та швидкості потоку води, що набігає на РРК.

Вивчення особливостей роботи РРК у косому потоці води, дасть змогу синтезувати системи керування криволінійним рухом підвищеної точності. Ефективним інструментом для такого дослідження є метод математичного моделювання руху АНПА. При цьому важливою умовою є застосування спрощених моделей, які можна досліджувати за допомогою широко доступних пакетів комп'ютерних програм, зокрема, пакету Simulink (Math works, США).

Для проведення дослідження роботи АНПА при різних типах траєкторного руху математичну модель підводного апарату було доповнено моделями рушійно-рульових комплексів типу: «гвинт – руль» та «гвинт в поворотній насадці» [4, 5].

Для підтвердження працездатності розробленої математичної моделі динаміки плоского криволінійного руху АНПА в роботі проведено порівняння значень упору та моменту на валу ГГ під час повороту насадки на встановлений кут в діапазоні $[0^\circ; 35^\circ]$, отриманих

шляхом комп'ютерного моделювання із залежностями отриманими експериментальним шляхом у дослідному басейні.

Так, як зміна упору і збільшення моменту на валу гребного гвинта при роботі в косому потоці залежить від двох складових: вихідного (без скося потоку) упору F_E та моменту Q і від коефіцієнтів зміни упору і моменту K_E і K_Q (2.25), то для порівняння доцільніше використовувати саме функціональні залежності $K_E(\delta^\circ)$ і $K_Q(\delta^\circ)$, рис. 1.

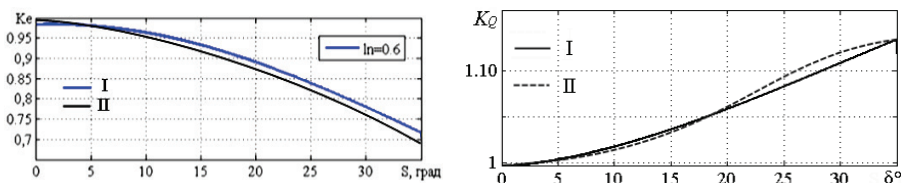


Рисунок 1. Залежність коефіцієнту упору та моменту РРК від кута повороту насадки:

I – отримана шляхом математичного моделювання;

II – отримана експериментальним шляхом у дослідному басейні

В таблиці 1. представлено порівняльний аналіз результатів для заданих значень кутів повороту насадки.

Таблиця 1. Експериментальне порівняння коефіцієнту упору та моменту РРК

Кут повороту насадки δ°	10	20	30	35
Математичне моделювання) K_E	0,963	0,89	0,78	0,716
Експериментальні данні K_E^*	0,95	0,87	0,76	0,68
Різниця у %	1,3	2,3	2,6	5,3
Кут повороту насадки δ°	10	25	30	35
Математичне моделювання) K_Q	1, 02	1,08	1,11	1,25
Експериментальні данні K_Q^*	1, 015	1,093	1,12	1,235
Різниця у %	0,4	1,2	0,9	0,015

*– Данні отримані з А. Д. Гофман «ДРК и маневрирование судна», 1988 р.

|web-site: conference.nuos.edu.ua | email: conference@nuos.edu.ua; tel (+380512) 709444; 709105|

Як видно з представлених результатів найбільша різниця для коефіцієнту упору складає 5,3% при перекладці насадки на кут 35° , який вважається максимальним для поворотних насадок. Найбільша різниця для коефіцієнту моменту складає 1,2 % при перекладці насадки на кут 25° . Така різниця пояснюється конструктивними особливостями рушійно-рульових комплексів, що досліджувались. Також необхідно враховувати, що результати експериментальних випробувань отримані з урахуванням деяких припущень [6].

Розроблену математичну модель АНПА з двома типами РРК було використано для дослідження гідродинамічних характеристик рушіїв у скошеному потоці води [7].

Комп'ютерне моделювання АНПА на плоскій циркуляції довело наявність нелінійної залежності сили упору та моменту на валу гребного гвинта від зміни кута повороту руля або насадки та швидкості руху АНПА. Як видно графіків дана залежність має значну нелінійність та буде впливати на точність керування АНПА при криволінійному русі.

В результаті досліджень отримано діаграми залежностей упору рушійно-рульових комплексів від кута перекладки руля (насадки) в діапазоні від 0° до 35° , та швидкості руху АНПА до 1 м/с., рис. 2. В роботі проведено дослідження працездатності синтезованої САК швидкістю руху АНПА з урахуванням уточненого значення упору в косому потоці води методом комп'ютерного експерименту.

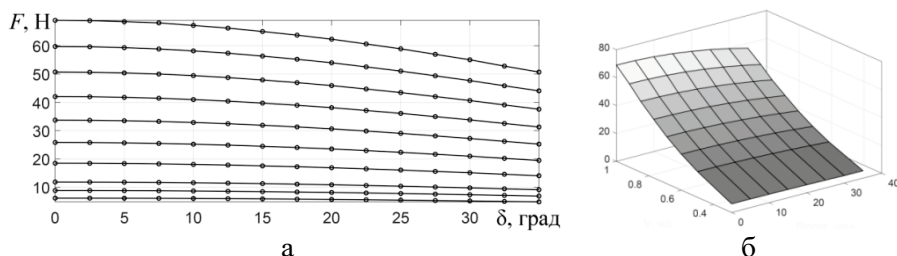


Рисунок 2. Залежність упору від кута повороту насадки та швидкості руху АНПА: а – діаграма залежності упору від кута повороту насадки: $[0; 35]^\circ$, $[0,2; 1]$ м/с; б – апроксимаційна поверхня даної залежності

Моделювання роботи оптимального регулятора швидкості з компенсацією втраченого упору при різних траєкторіях руху АНПА представлено на рисунку 3.

Спочатку підводний апарат починає розгін від нульової швидкості до 0,8 м/с по прямій траєкторії. Регулятор швидкості формує керуючий вплив який дозволяє досягти заданої швидкості максимально швидко. При цьому маємо максимальне значення упору. При здійсненні повороту насадки на 30° момент і швидкість починають знижуватись. Регулятор упору обчислює значення на яке необхідно збільшити керуючий вплив і компенсувати втрачений упор. Далі на ділянці з 30 по 50 секунду апарат рухається з постійною швидкістю під сталим кутом 30° .

Моделювання показало, що відхилення швидкості АНПА під час криволінійного руху апарату з регулятором компенсації упору залишається в межах 2%.

Висновки. За результатами досліджень встановлено, що упор рушійно-рульового комплексу АНПА при криволінійному русі, є нелінійною залежністю від кута перекладки руля (насадки) та швидкості руху АНПА.

Підтверджено відповідність залежностей упору та моменту РРК при криволінійному русі АНПА, отриманих шляхом математичного моделювання, експериментальним дослідженням сили упору і моменту схожих типів РРК, отриманих шляхом натурних випробувань.

Проведено ряд комп'ютерних експериментів та побудовано діаграму залежності упору від кута повороту насадки. Також, сформовано вибірку даних, що у вигляді апроксимованої поверхні наглядно описує в яких зонах швидкостей та кутів спостерігається найбільш суттєвий прояв нелінійних залежностей між цими змінними.

Удосконалено оптимальну за швидкодією систему керування швидкістю руху АНПА додаванням нейромережевого регулятора, що компенсує втрачене значення упору при криволінійному русі АНПА. Для навчання НМ регулятора була використана база даних отримана шляхом математичного моделювання руху АНПА в різних режимах роботи.

Секція 2. Електрообладнання та автоматика підводних систем і комплексів

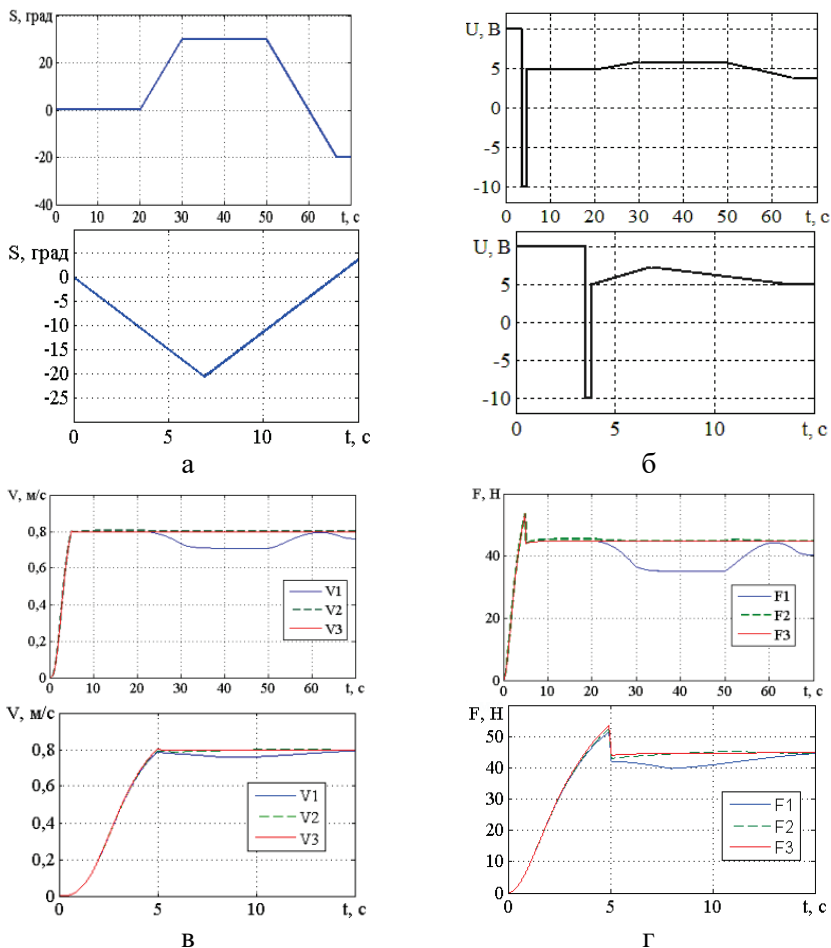


Рисунок 3. Моделювання роботи САК швидкістю руху АНПА:

а – кут повороту насадки; б – сигнал керування;

в – швидкість руху АНПА; г – значення упору РРК.

$V1, F1$ – швидкість та упор без регулятора компенсації упору ($V = 0,8$ м/с);

$V2, F2$ – швидкість упор з регулятором компенсації упору;

$V3, F3$ – швидкість та упор при прямолінійному русі АНПА.

Список літератури:

1. Блінцов, С. В., Грудініна, Г. С. (2009). Розробка оптимальних за швидкістю систем керування підводним апаратом в умовах невизначеності на базі штучних нейронних мереж. [Електронне видання]. *Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування*, 1.
2. Roman Fedorenko, & Gurenko, B. V. (2016). *Autonomous Underwater Vehicle Mathematical Model and Simulator*. The 4-th International Conference. DOI: 10.1145/3029610.3029639
3. Ying He, Dao Bo Wang and Zain Anwar Ali. (2020). A review of different designs and control models of remotely operated underwater vehicle. *Measurement and Control*. 53(9-10), 1561-1570.
4. Алоба, Л. Т., Блінцов, С. В., та Грудініна, Г. С. (2017). Математичне моделювання динаміки автономного ненаселеного підводного апарата на плоскій циркуляції. *Збірник наукових праць НУК*. 4, 53-60.
5. V. Blintsov, H. Hrudinina. (2019). Mathematical modeling of autonomous underwater vehicle propulsion and steering complex operation in oblique (beveled) water flow. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4/9 (100), 10-28.
6. Грудініна Г.С. (2021). Дослідження сили упору рушійно-рульового комплексу АНПА в косому потоці води методом комп'ютерного моделювання. *Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, НУК*.
7. Гофман, А. Д. (1988). Двигательно-рулевой комплекс и маневрирование судна. Ленинград: Судостроение, 360.

УДК 681.5

РОЗРОБКА ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ВАНТАЖНОГО АВТОНОМНОГО ПІДВОДНОГО АПАРАТА

***Автори:** Модь О.М., магістрант, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна; Козанчин І.І., студент, Херсонська філія Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна*

***Науковий керівник:** Блінцов В.С., д.т.н., професор, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна*

Вступ. Актуальність теми роботи обумовлена значним переліком підводно-технічних робіт, які необхідно виконувати при освоєнні та використанні морського шельфу держави та, зокрема, при виконанні транспортно-монтажних підводних робіт.

Об'єктом дослідження роботи є новий тип підводної робототехніки – автономний підводний апарат, призначений для транспортування вантажів – вантажний самохідний підводний носій (ВСПН).

Предметом дослідження є електрообладнання вантажного автономного підводного апарата типу ВСПН.

Метою роботи є вибір та обґрунтування складу електрообладнання ВСПН для стадії його ескізного проектування.

Для досягнення поставленої мети у роботі виконано попередній вибір основного електрообладнання ВСПН, виконано розрахунок потужності електричних двигунів рушійно-кермового комплексу ВСПН та розрахунок акумуляторного джерела живлення.

При виконанні дослідження використано методики проектування засобів підводної робототехніки, створені науковою школою «Підводна техніка» Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова [1].

Викладення основного матеріалу. У роботі виконано вибір та обґрунтування складу електрообладнання нового типу підводної робототехніки – автономного підводного апарату, призначеного для транспортування вантажів – вантажного самохідного підводного носія.

Надано відомості про призначення та область застосування вантажного автономного підводного апарата типу «Вантажний самохідний підводний носій», наведено опис архітектурно-конструктивного типу та обґрунтовано склад електрообладнання автономного підводного апарата, виходячи з виконання ним основної місії – підводної доставки вантажу.

На основі виконаних досліджень у роботі сформульовано основні режими функціонування підводного апарата, які включають тестування і постановку підводної місії, перехід у точку призначення, корекцію координат, підхід до маяка, вихід у кінцеву точку та аварійні режими.

Виконано розрахунок потужності електричних двигунів рушійно-кермового комплексу вантажного автономного підводного апарата, який включає два електричних двигуни горизонтального руху та чотири електричних двигуни вертикального руху підводного апарату.

У роботі також виконано розрахунок основних технічних характеристик акумуляторних батарей вантажного автономного підводного апарата для доставки корисного вантажу на задану відстань.

Висновок. У результаті виконаної роботи отримано нові інженерні знання щодо можливостей енергоживлення підводних апаратів-роботів, призначених для доставки вантажів на задану відстань.

Список літератури:

1. V. Blintsov, G. Babkin. Theoretical Basis of Design and Production of Marine Robotics. Collective monograph “Prospects and priorities of research in science and technology” : Vol. 1. Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2020. Pages 25-43

УДК 621.314.621

АНАЕРОБНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПІДВОДНИХ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ

Автор: Салтанов С.В., Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Науковий керівник: Овсянников В.М., к.т.н., доцент, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Вступ. На сьогодні в усіх промислово розвинених країнах активно ведуться розробки неатомних анаеробних (незалежних від повітря) енергетичних установок (АЕУ) підводних рухомих об'єктів (ПРО). Напрями досліджень в даній області вибираються виходячи з досвіду національних технічних шкіл і рівня розвитку відповідних галузей електроенергетики та машинобудування. Зараз позначилися такі пріоритетні напрямки розвитку АЕУ підводних човнів (ПЧ): електричні установки на основі акумуляторів великої ємності або паливних елементів (Німеччина, Іспанія, Росія); теплові енергетичні установки (ЕУ) на основі паротурбінних установок замкнутого циклу (MESMA, Франція), двигунів Стірлінга (Швеція, Японія) або дизелів замкнутого циклу (Чилі, північна Корея). Всі перераховані ЕУ відносяться до «єдиних» (з єдиним двигуном) установок. У таких установках двигуни використовуються в якості головних. Притому вони працюють як в надводному, так і в підводному станах. Класичні дизель-електричні ЕУ ще знаходяться в експлуатації, але, як вважають спеціалісти, вже в найближчому майбутньому будуть повністю витіснені «єдиними» [3 – 12].

Основна частина. Для більшості ПРО вимоги до тривалості їх автономної роботи і потужності зазвичай не такі жорстокі, як для бойових підводних човнів. Але тут накладається домінуюче вимога зручності користування. Технологія виробництва теплових двигунів для таких апаратів відпрацьована. Їх вартість відносно стабільна. Хоча, з врахуванням вимог, спрямованих на підвищення екології по вихлопу, вартість зростає. А ось вартість акумуляторів і паливних батарей завдяки еволюції в області електрохімії безперервно знижується. Тому ЕУ всіх малих і здебільшого середніх ПРО зараз проектуються виключно як електричні [4 – 16].

Частки технічних рішень ЕУ ПРО з повністю акумуляторними системами (без можливості підзарядки під час виконання місії), паливними елементами та ЕУ з тепловими двигунами розподіляються приблизно у співвідношенні 90:9:1. Імовірною причиною такого співвідношення можна вважати те, що в даний час практично згорнуто всі роботи, спрямовані на дослідження теплофізичних, механічних та електромеханічних акумуляторів. Проблема в тому, що вони значно поступаються електрохімічним установкам за питомою густиною зберігання енергії. У той же час слід зазначити, що джерела теплової енергії на основі гідрореагуючих металів з використанням хімічних елементів Al, Mg, Si, Be, В, а також ядерні матеріали – уран та радіоізотопи, не розглядаються для застосування. Причиною тому є те, що вони використовуються лише у спеціальних та військових застосуваннях.

І тут слід звернути особливу увагу на термохімічні акумулятори, що регенеруються в наслідок дії оборотних екзо – ендотермічних окислювально-відновні реакцій. Деякі їх склади мають теплотворну здатність, яка не поступається вуглеводневим паливом, що дозволяє ефективно використовувати їх у вигляді змінних блоків у складі теплових двигунів із зовнішнім підведенням теплоти.

Аналіз даних [4] дає можливість зробити висновки по ефективності сфер застосування різних ЕУ та джерел енергії. Тут розглядаються діаграми потужності та тривалості роботи ЕУ від різних джерел енергії: теплові двигуни; ядерні реактори; електричні акумуляторні батареї; паливні елементи; радіоізотопи. Видно, що енергетична установка ПРО з акумуляторними батареями або паливними елементами буде більшою, ніж установка, яка оснащена тепловим двигуном або ядерною ЕУ. Окремо слід розглядати енергетичні установки ПРО, що поповнюють запас енергії на борту за рахунок перетворення енергії зовнішнього середовища – сонячної енергії (фотовольтаїчні батареї); енергії хвиль (електромеханічні та маятникові перетворювачі) та внаслідок перепаду температур у товщі води (теплові двигуни із зовнішнім підведенням теплоти і акумулятор холоду). Щільність потоку енергії тут дуже мала, що має на увазі в місії ПА тривалі періоди пасивного дрейфу із зарядом бортових акумуляторів. Однак у концептуальному плані цей потік практично нескінченний [12 – 16].

Секція 2. **Електрообладнання та автоматика підводних систем і комплексів**

Порівняльні дані різних типів ЕУ [14] наведено у таблиці 1.

Таблиця 1. Порівняльні данні різних типів ЕУ

Технічні характеристики					
Технологія	Удельная енергія Wh/kg	Удельная енергія Wh/Liter	Кількість циклів	Вартість \$/kWh	Готовність до застосу- вання
Вторинні батареї					
Lead Acid (Pb/Pb0)	35	90	800	50	В дії
Nickel Cadmium (NiCd)	55	130	1,000	1,500	В дії
Nickel Hydride (NiH ₂)	60	150	10,000	2,000	В дії
Nickel Metal Hydride (NiMH)	70	175	300	50	В дії
Silver Zinc (Ag-Zn)	140	380	20	1,000	В дії
Silver Iron (Ag-Fe)	150	200	200+	500–800	В дії
Li-Solid Polymer Electrolyte (Li-SPE)	150	360	200	100–1,000	Прототип
Lithium Ion Solid State (Li-Ion-SPE)	150	360	1,000	100–1,000	Прототип
Lithium Ion (Li-Ion)	200	200	2,000	500–1,000	В дії
Lithium Cobalt Dioxide (LiCoO ₂)	220	300	50	1,000	Дослідження
Первинні батареї					
Lithium Sulfur Oxide (LiSO ₂)	140	500	1	400	В дії
Silver Zinc (Ag-Zn)	220	400	5	3,000	В дії
Lithium Thionyl Chloride (LiSoCl ₂)	480	500	1	300	В дії
Lithium Carbon Monofluoride (Li(CF) _x)	800	1,200	1	1,700	Прототип
Паливні елементи					
Alkaline	100	90	400	5,000	Прототип

Технічні характеристики						
Технологія		Удельная енергія Wh/kg	Удельная енергія Wh/Liter	Кількість циклів	Вартість \$/kWh	Готовність до застосу- вання
Proton Membrane (PEM/GOX/GH)	Exchange	225	200	50	10,000	Прототип
Proton Membrane (PEM/LOX/LH)	Exchange	450	400	50	15,000	Прототип
Proton Membrane (PEM/SOX/SH)	Exchange	1,000	883	50	5,000	Прототип
Aluminum-Water Semi-cell (A1/H ₂ O/LOX)		1,200	800	1	10,000	Прототип
Теплові анаеробні двигуни (Closed-Cycle Air Independent Propulsion Systems)						
Internal Engine	Combustion	75	170	2,000	50–100	В дії
Diesel Engine		125	75	1,000	100–200	В дії
Brayton-Lithium Sulfur (LiSF ₆)	Sul- Hexafluoride	400	700	1	15	Прототип
Stirling		200	250	2,000	50–100	В дії

Аналіз даних таблиці дозволяє зробити висновок про те, що скромні фінансові можливості державного бюджету, а також малі залишки технологічних можливостей нашої країни в галузі енергетичного машинобудування, не дозволяють мріяти про збалансований «саморозвиток» неатомного підводного суднобудування. Ймовірно, що в даний час єдиною реальною можливістю розвитку ЕУ ПРО можна вважати створення малих та, можливо, середніх підводних об'єктів. Причому електричні установки в таких ПРО будуватимуться на основі літєвих джерел струму.

Літій є ідеальним електродним матеріалом [10], має в порівнянні з іншими лужними матеріалами відмінні фізико-хімічні та електрохімічні характеристики. Теоретичні питомі ємності та питомі енергії становлять 397 А * год / кг і 1175 Вт * год / кг відповідно. Літієві електрохімічні системи лише трохи поступаються перспективним сірчано-натрієвим акумуляторам [11, 15 – 18]. При цьому слід зазначити, що останні високотемпературні. Найважливішою перевагою використання ЕУ на основі літію можна вважати і те, що літій безпечний для навколишнього середовища та зустрічається у природі у значній кількості.

Розвідані на 2010 рік світові запаси руд літію перевищують мільйон тонн. Чудовою перевагою використання цього металу можна вважати і те, що в Україні розташоване найбільше в Європі Полохівське родовище (Маловисківський район Кіровоградської області). Руда родовища петалітового типу $(\text{Li, Na})\text{AlSi}_4\text{O}_{10}$ з розвіданим запасом 100 тисяч тонн і прогнозним приблизно 180 тисяч тонн літію. Україна має розвідані запаси літію на рівні 10% від усіх світових запасів.

Найважливішою перевагою використання літієвих систем для ПРО можна вважати й ту обставину, що ще 2000 року в Інституті загальної та неорганічної хімії НАН України було створено цілком конкурентоспроможні зразки літієвих джерел струму та відпрацьовано технологію їх виробництва.

Слід сказати про те, якщо не продавати сировину, а за належного контролю з боку уряду та розумного фінансування розвинути цей напрям, то Україна має реальний шанс створити нову високотехнологічну національну галузь і в умовах глобального поділу праці міцно зайняти свою нішу на світовому ринку. Приблизним зразком у цьому плані є досвід Китаю. Так, КНР на державному рівні забороняє експортувати сировину із рідкісноземельних матеріалів. Експорт таких матеріалів дозволено лише як кінцевої продукції – наприклад, як супермагнітів.

Особливу увагу заслуговує розгляд стану підводного суднобудування в нашій країні. Це, на сам перед, стосується створенню різного типу підводних апаратів (ПА), підводних платформ (ПП), підводних рухомих об'єктів та, в майбутньому, підводних човнів (ПЧ). Як відомо, сучасні підводні човни є боєздатним і високоефективним засобом збройної боро-

тьби на морі. Їх можна вважати рухомими платформами, здатними нести різноманітну зброю, а також здійснювати тривале плавання у відриві від місць базування. В даний час підводні човни (ПЧ) різних країн, за винятком кількох технологів, мало відрізняються один від між собою по архітектурі, водотоннажності, оснащенню високоточною зброєю, живучості, надійності, радіоелектронного озброєння тощо.

Практика показує, що бойова ефективність дизельних підводних човнів залежить від необхідності періодично заряджати акумуляторні батареї. Для цього підводний човен доводиться підспливати на перископну глибину для підзарядки акумуляторних батарей, що знижує скритність їх дій і підвищує ймовірність виявлення. Так, дизельні підводні човни щодобово витрачають 2-5 годин на підзарядку батарей. При несенні чергування у зоні патрулювання зі швидкістю 2-4 вузла можуть перебувати у підводному положенні до 4 діб. При цьому їх акумуляторні батареї розряджаються приблизно на 80% і підзарядка вимагатиме значно більшого часу. Крім того, обмеженість енергетичних запасів дизельних підводних човнів не дозволяє використовувати їх в арктичних районах, покритих льодами. А наша країна вже має можливість проводити дослідження як в Арктиці та й в Антарктиці.

Проблема збільшення тривалості підводного плавання, що виключає необхідність частого підспливання для заряджання акумуляторних батарей, може бути вирішена за рахунок застосування анаеробних енергетичних установок потужністю від 100 до 300 кВт, що підвищує термін автономності до 720 годин. Аналізуючи сучасний рівень у АЕУ, необхідно відзначити відсутність або відставання України у вирішенні цього питання від передових промислово розвинених країн.

За кордоном перші анаеробні ЕУ для підводних човнів з'явилися в 80-90 роки минулого століття. В даний час у Німеччині, Швеції, Франції, Італії, США створено, пройшли випробування та розпочато серійне виробництво анаеробних енергоустановок на основі двигунів Стірлінга, парогазових турбін та електрохімічних генераторів. ВМС Німеччини з 1998 року розпочали будівництво чотирьох підводних човнів проекту «212». Проектом передбачено оснащення човна гібридною енергетичною установкою, що включає акумуляторні батареї та анаеробне вста-

новлення на базі паливних елементів, розроблених за технологією фірми «Сіменс». Оснащення підводного човна анаеробною установкою дозволить їй перебувати в підводному положенні до 20 діб, що значно підвищить її скритність і бойові можливості. Перша підводна човна проекту «212» увійшла до складу флоту вже в 2005 році.

Групою фірм, що входять до кораблебудівного концерну «DCN», для французького підводного човна «Скорпен» (Agosta-90B) розроблено парогенераторну анаеробну ЕУ типу MESMA (Module D'Energie Sous Marine Autonome). Повномасштабний береговий дослідний зразок анаеробної ЕУ був пущений в експлуатацію ще 1998 року. За даними концерну «DCN», вихідна потужність анаеробної ЕУ "MESMA" становить 200 кВт, що дозволяє збільшити дальність підводного плавання в 3-5 разів, за середньої швидкості 4-5 вузлів.

Поруч зарубіжних компаній (Англія, Італія та ін.) у 70-х роках минулого століття були виконані дослідження зі створення підводного човна з анаеробними установками на основі дизелів замкнутого циклу (ДЗЦ). На основі даного досвіду, італійською фірмою «Маріталія» були створені серії бойових підводних човнів – надмалих «3-GST9», малих «LWT-27», середніх та великих «20-GST48». У всіх їх застосовувалися технологія GST та анаеробні установки на основі дизелів замкнутого циклу. Крім італійців, розробка енергоустановок на основі дизеля, що працює за замкненим циклом, велася фірмою RDM (Голландія) спільно з фірмами CDSS (Великобританія) та TNSW (ФРН), які виготовили та випробували установку «SPECTRE». Її намагалися впровадити в нове сімейство підводного човна "Moray" і також пропонували для модернізації підводного човна класу "Walrus". На німецькому підводному човні U-1 проекту 205 в 1993 році проходили морські випробування цієї установки. В даний час фірму CDSS ліквідовано, а установку «SPECTRE» продано південно-корейській фірмі Hyundai.

Існують проекти ПЧ оснащені АЕУ на основі малих атомних реакторів. Фахівці канадської фірми «Енерджі конверсин системз» розробили анаеробну енергетичну установку для дизельних підводних човнів на основі малогабаритного ядерного реактора. За прототип узятий малопотужний дослідний реактор на повільних нейтронах «Слоупоук». Його електрична потужність складає до 400 кВт, морська кампа-

нія складає до 1000 діб під час роботи на повну потужність. Підводні човни, оснащені малогабаритними ядерними реакторами, по суті залишаються дизельними. Ці установки фірма передбачає постачати у вигляді окремих складових.

Найбільших результатів у розробці анаеробних установок досяг шведський концерн Kockums Submarin Systems, який побудував три підводні човни класу "Gotland" типу A19 на основі двигунів Стірлінга. На підводному човні встановлюється два двигуни V4-275R за потужністю по 75 кВт. Три підводні човни типу Gotland були побудовані фірмою Kockums в 1992 – 1996 роках. Довжина субмарин – 60,4 метра, підводна водотоннажність – 1599 тонн. Екіпаж – 27 осіб, у тому числі 5 офіцерів. Озброєння: 4 X 533-мм та 2 X 400-мм торпедного апарату. Швидкість повного підводного ходу – 20 вузлів. При використанні двигуна Стірлінга човни можуть перебувати під водою без підзарядки акумуляторних батарей до 20 діб.

Найперспективніший проект шведів пов'язаний з перспективним підводним човном «Вікінг». Ця назва вибрана не випадково. У реалізації проекту мають брати участь ще дві скандинавські країни – Норвегія та Данія. «Кокумс», норвезька компанія «Конгсберг» та датська «Оденсе столшипсваерфт» утворили консорціум для практичної роботи над проектом. Загалом планувалося збудувати 12 субмарин нового покоління. На думку провідних фахівців, цей проект буде найкращим підводним човном XXI століття. На ПЧ планується встановити єдиний двигун Стірлінга великої потужності (орієнтовно 800 кВт).

Зараз доля «Вікінгу» в руках Європейської суднобудівної компанії, контролюваної німецькими концернами – фінансово-промисловою групою «Беккок Борзиг» (50 відсотків плюс одна акція) та холдингом «Пресаг» (25 відсотків без двох акцій).

Нажаль Україна поки що не має не те що реально діючих аналогів даних зразків спеціальної військової техніки, а й навіть в Державі ще не вироблена чітка концепція створення вітчизняних АЕУ. Це пов'язано, насамперед, із тим, що різке зниження фінансування у останні роки призвело до значного зменшення активності науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт з цієї тематики.

На думку провідних фахівців, вже в найближчі 5-7 років РПО без анаеробних установок не зможуть в повному обсязі виконувати бойові завдання, що стоять перед ними, в умовах посилюючої протичовнової боротьби. Усе це призводить до необхідності активізації як теоретичних так й експериментальних робіт зі створення перспективних АЕУ для вітчизняних РПО.

І не виключно, що Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова буде грати вагому роль в створенні найкращих, найсучасніших, найперспективніших та конкурентоспроможних підводних технологій.

Висновки

1. Теплові двигуни в найближчі роки мають перспективу домінувати у великому та середньому класі підводних рухомих об'єктів.

2. Провідну роль в створенні підводних човнів грають країни з високим економічним потенціалом.

3. Малі та середні ПРО матимуть електричні ЕУ з анаеробними двигунами.

4. АЕУ поступово витіснять інших типів двигунів.

5. Україна має потенційні можливості для розвитку власної національної галузі з виробництва високотехнологічних літєвих акумуляторів та паливних батарей.

Список літератури:

1. Романов А.Д., Чернышов Е.А., Романова Е.А. Сравнительный обзор и оценка эффективности воздухонезависимых энергетических установок различных конструкций. // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6.; URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=10994> (дата обращения: 01.10.2017).

2. Романова Е.А., Чернышов Е.А., Романов А.Д. Оценка актуальности развития воздухонезависимых энергетических установок и экспортного потенциала неатомных подводных лодок. // Вектор науки ТГУ. – 2015. – №1 (31), с. 25 – 28.

3. Чернышов Е.А., Романова Е.А., Романов А.Д. Развитие воздухонезависимых энергетических установок подводных лодок. // СПб, Вестник Гос. Университета морского и речного флота, Выпуск 5 (33), 2015. – с 140 – 151.

4. Баландин А.В., Здобина Г.В., Кичев В.С., Костриков С.Г., Овдиенко И.Н., Чуксин Я.Н. Приложение 2. Проектно-конструкторские решения неатомных ПЛ. – ЦКБ морской техники «РУБИН».

5. Кириллов Н.Г. Альтернативная энергетика под водой: Состояние и анализ перспектив развития воздухонезависимых энергетических установок для современных подводных кораблей. // Журнал «Альтернативный киловатт», № 1, 2, 2011. <http://www.akw-mag.ru/>

6. Каталог концерна «Морское подводное оружие – Гидроприбор», АО «НИИ мортеплотехники», С-Пб. <http://www.gidropribor.ru/about/departments/morteploekhniki.html>

7. Войтов Д.В. Автономные необитаемые подводные аппараты. – М, Моркнига, 2015. – 332 с.

8. Архив журнала «Подводные исследования и робототехника» <http://jmtf.febras.ru/rus/magazine-archive-rus.html>

9. Архив журнала «Marine Technology Reporter» <https://www.marinetechologynews.com/magazine>

10. Кузьмінський Є.В., Колбасов Г.Я., Тевтуль Я.Ю., Голуб Н.Б. Нетрадиційні електрохімічні системи перетворення енергії. – Київ, ВД «Академпериодика», 2002. – 182 с.

11. Промышленное применение аккумуляторных батарей. От автомобилей до авиакосмической промышленности и накопителей энергии. Пер. с англ. Под ред. М. Бруссили, Дж. Пристойя. – М, Техносфера, 2011. – 784 с.

12. Energy storage for long endurance AUVs. // G. Griffiths, J. Jamieson, S. Mitchell, K. Rutherford

13. International seminar Current and future Challenges in design and construction of underwater vehicles. – FICCI Federation House, Tansen Marg, New Delhi, November 22, 2016. – 334 p.

14. Appendix 1. Global Inventory of AUVs and Gliders. Return to Contents Global Inventory of AUV and Glider Technology available for Routine Marine Surveying. NERC science of the environment // Project Leaders: Dr Russell Wynn (NOC) and Dr Elizabeth Linley. – Marine Renewable Energy, Knowledge Exchange Programme, September 2013.

15. Stephen Beeby, Neil White, Energy harvesting for autonomous systems. – University of Southampton, Southampton, UK.

16. Encyclopedia of electrochemical power sources. Red.: Jurgen Garche, Chris K. Dyer, Patrick T. Moseley, Zempachi Ogumi, David A.J. Rand, Bruno Scrosati. – 423 p.

17. Next generation lithium ion batteries for electrical vehicles. Edited by Chong Rae Park, In-Tech, 2009, www.intechweb.org

18. Greger R. Dahlin, Kalle E. Strom, Lithium batteries: Research, technology and applications. – New York, Nova Science Publishers, Inc., 2009. – 226 p. <http://www.novapublishers.com>

УДК 681.5

РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ГРУПОВИМ РУХОМ БЕЗЕКІПАЖНИХ НАДВОДНИХ СУДЕН

Автор: Спільний М.М., магістрант, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Науковий керівник: Блінцов В.С., д.т.н., професор, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Вступ. Відсутність участі екіпажу під час руху судна гарантує безпеку людей у разі виникнення надзвичайної ситуації [1-3]. На відмінну від екіпажних надводних суден безекіпажні здатні виконувати ті ж самі задачі розвідки, патрулювання, захисту не гірше [4-7]. Подібної техніки у світі наразі чимало [8-10]. Проте і технології керування для яких потрібно виконувати постійні модернізації чи удосконалення не менше [11, 12]. Отож, великої актуальності набувають питання розробки та проектування систем автоматичного керування групових рухом безекіпажних надводних суден.

Об'єктом дослідження є паралельний груповий рух двох безекіпажних надводних суден по заданому курсу руху.

Предметом дослідження є розробка системи автоматичного керування груповим рухом двох безекіпажних надводних суден, які рухаються по заданому курсу.

Метою роботи є розробка системи автоматичного керування груповим рухом безекіпажних надводних суден.

Завдання роботи, які потрібно вирішити для досягнення поставленої мети:

- виконати огляд сучасних зразків безекіпажних надводних суден;
- розглянути конструкцію існуючих кермових пристроїв та принципів їх дії;
- представити структурну схему системи автоматичного керування курсовим рухом безекіпажного надводного судна;
- розробити нечіткий регулятор системи автоматичного керування;
- виконати математичне моделювання роботи запропонованої системи автоматичного керування;
- виконати розрахунок електроенергетичної системи швидкісного катера, що може бути модифікований у безекіпажний об'єкт керування;
- проаналізувати якість перехідних процесів запропонованої системи.

Викладення основного матеріалу.

Для розв'язку поставлених у роботі завдань використано наступні методи дослідження:

- метод системного аналізу (для визначення взаємозв'язків між елементами електропривода та визначення способу його реалізації);
- метод комп'ютерного моделювання (для дослідження роботи реалізованої системи автоматичного керування у програмному середовищі *Simulink*);
- метод аналітичного рішення алгебраїчних рівнянь (для лінеаризації).

У роботі виконано огляд сучасних зразків безекіпажних надводних суден з описом їх функціональним можливостей.

Розглянуто конструкцію кермових пристроїв з роз'ясненням принципів їх дії. представлені вимоги до математичної моделі безекіпажного надводного судна як об'єкта керування.

Наведено загальну структуру математичної моделі у лінійній та частково лінеаризованій формі з метою створення *Simulink* моделі системи автоматичного керування груповим рухом безекіпажного надводного судна по заданому курсу.

Виконано розрахунок електроенергетичної системи швидкісного катера, що може бути модифікований у безекіпажний об'єкт керування.

ня. На основі запропонованої в роботі структури системи автоматичного керування розроблено *Simulink* модель для дослідження групового руху безкіпажних надводних суден за заданим курсом.

В результаті моделювання розробленої *Simulink* моделі системи керування отримані осцилограми процесу стабілізації курсу двох безкіпажних надводних суден під час маршового руху з застосуванням ПІ, ПІД та нечіткого регулятора.

Аналіз отриманих даних підтверджує працездатність розробки та повністю задовольняє якості процесу стабілізації паралельного руху безкіпажних надводних суден за заданих курсом.

Висновки.

У результаті виконаної роботи отримано наступні результати:

- розроблено *Simulink* модель для дослідження групового руху безкіпажних надводних суден за заданим курсом;
- розроблено нечіткий регулятор системи автоматичного керування;
- виконано аналіз отриманих даних, які підтверджують працездатність розробки та повністю задовольняють якості процесу стабілізації групового паралельного руху безкіпажних надводних суден за заданих курсом.

Застосування отриманих результатів може бути використане для реалізації одного з режимів роботи (групового паралельного руху заданим курсом) систем автоматичного керування безкіпажними надводними суднами, які передбачають застосування теорії нечітких множин.

Список літератури:

1. Porathe, T., Maritime Autonomous Surface Ships (MASS) and the COLREGS: Do We Need Quantified Rules Or Is “the Ordinary Practice of Seamen” Specific Enough, *TransNav*, 2019, vol. 13, no. 3.
2. Ривкин Б.С. Е-Навигации – десять лет. Гироскопия и навигация, 2015. – №4. – С. 173-191.
3. Wright, G.R., Intelligent Autonomous Ship Navigation using Multi-Sensor Modalities, *TransNav*, 2019, vol. 13, no. 3.
4. Русин А.С. и др. Тенденции развития безэкипажных катеров // Судостроение, 2013. №3. С. 15-17
5. Фролов В.Н. и др. Технологии безэкипажного судовождения, 2018. №4. С. 17-21.

6. Постанова про затвердження Морської доктрини України на період до 2035 року [Електронний ресурс]. – 2009. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1307-2009-%D0%BF#Text> (дата звернення: 20.11.2021).

7. Рекомендації з оборонного планування на основі спроможностей у Міністерстві оборони України та Збройних Силах України [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: http://www.mil.gov.ua/content/other/Recommendationson_CBP_120617.pdf (дата звернення: 10.11.2021).

8. Как устроены и для чего используются морские дроны [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://lifestyle.segodnya.ua/lifestyle/science/kak-ustroeny-i-dlya-chego-ispolzuyutsya-morskie-drony-670783.html> (дата звернення: 10.11.2021).

9. Морские военные роботы [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <http://robotrends.ru/robopectia/morskie-voennye-roboty> (дата звернення: 12.11.2021).

10. Современные тенденции развития робототехнических комплексов [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://rtc.ru/media/images/docs/book/morskie.pdf> (дата звернення: 12.11.2021).

ВИКОРИСТАННЯ ETHERNET-ТЕХНОЛОГІЙ У СИСТЕМАХ ІНФОРМАЦІЙНОГО ОБМІНУ ПІДВОДНОЇ ТЕХНІКИ

Автори: Трибулькевич С.Л., старший викладач; Костенко Д.В., к.т.н., доцент; Трибулькевич В.В., аспірантка, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

В наш час практично неможливо уявити обладнання яке би не використовувало сучасні Інтернет та Ethernet технології для передачі даних. Ethernet мережі знайшли застосування практично у всіх сферах: у промисловості, автомобілебудуванні, керуванні рухомими об'єктами та ін., не виключенням становляться і системи інформаційного обміну підводної техніки. Впровадження сучасних технологій передачі даних значно розширює їхні можливості у якості та зручності систем відображення інформації, а також у можливості дистанційного керування через мережу Ін-

тернет. При проектуванні нової техніки можливість підключення до мережі Інтернет може бути закладена ще на етапі проектування, а при модернізації вже існуючої техніки підключення до мережі Ethernet може бути реалізовано шляхом використання перетворювачів TTL (UART) – Ethernet, при цьому практично неважливо який протокол інформаційного обміну використовується на борту підводного апарату.

Ethernet з'явився більше 30 років тому. У теперішній час під Ethernet ро-зуміють сімейство продуктів для локальних мереж, які відповідають стандарту IEEE 802.3. Промисловому застосуванню стандарту довгий час заважав метод випадкового доступу до мережі, що не гарантував доставку повідомлення в коротке й заздалегідь відомий час. Однак це проблема була вирішена застосуванням комутаторів.

Структурна схема перетворювача Ethernet – RS232/RS485/CAN наведена на рис. 1.

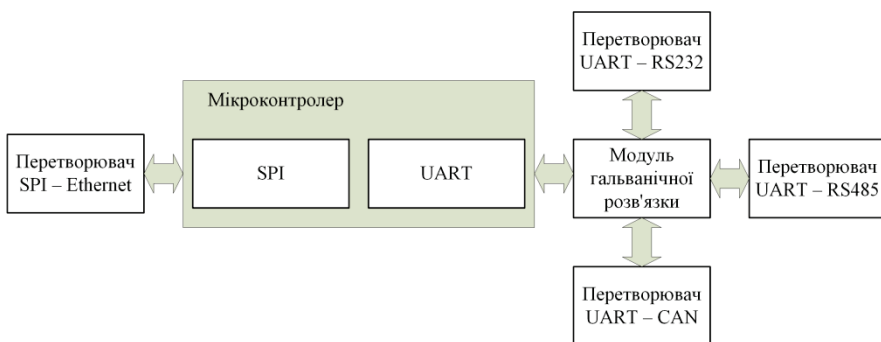


Рисунок 1 – Структурна схема перетворювача Ethernet – RS232/RS485/CAN

Конструкція перетворювача є модульною та дозволяє використовувати вихідні інтерфейси такі як RS232, RS485, CAN для стикування з обладнанням. Технології фізичного та каналного реалізує спеціалізована мікросхема ENC28J60 – Ethernet-адаптер (простіше кажучи, «мережева карта») на одному чипі, розроблений компанією Microchip. Мікросхема не вимагає для роботи багато обв'язки із зовнішніх компонентів, до МК підключається за допомогою SPI, повністю відповідає специфікації IEEE 802.3. Функції прикладного, представлення, сеансового,

транспортного та мережевого рівнів реалізує програмне забезпечення мікроконтролеру. Стеки протоколів TCP/IP для 8-розрядних мікроконтролерів реалізовані для Microchip PIC18. Відмінність цієї реалізації від існуючих полягає в тому, що вона виконана на C [1].

Програмні коди та документація з реалізації стека TCP/IP на мікроконтролері Microchip PIC18 доступні на сайті компанії. [2] Як можна бачити з документації та вихідних кодів, проект був розроблений однією людиною за досить короткий час. Також позитивною властивістю цієї реалізації є те, що проект може бути зібраний як MPLAB C18, так і HT-SOFT PIC18 компіляторами. Тобто в даному випадку є певна переносимість та незалежність від засобів розробки, що надаються виробником чіпів. Слід зазначити, що на відміну від більшості складних проектів, що поставляються виробниками мікросхем як «application note», стек протоколів від Microchip не містить помилок і файл (прошивка), що виконується, збирається без проблем. Вихідний текст супроводжується докладним та зрозумілим документом [2], що містить пояснення принципів роботи мережевих протоколів, опис особливостей реалізації та опцій конфігурації для реалізації різних мережевих протоколів та додатків. [1]

Принципова схема перетворювача Ethernet – SPI показана на рис. 2. В основу схеми покладено ENC28J60 – Ethernet-адаптер (простіше кажучи, «мережева карта») на одному чипі, розроблений компанією Microchip. Живлення мікросхеми – 3.3 В. Для роботи від 5 В використовується лінійний стабілізатор на мікросхемі DA1. Вибір напруги живлення модуля виконується за допомогою перемикача на роз'ємі XP1. Модуль A1 – спеціальні Ethernet-фільтри (Ethernet magnetics). Являють собою систему з кількох котушок на феритових кільцях. Вони потрібні для розв'язки та захисту від статички. ENC28J60 автоматично визначає полярність підключених світлодіодів. Причому полярність світлодіода, підключеного до виводу LEDB впливає на дуплексний режим роботи мікросхеми. Якщо світлодіод підключено катодом до мікросхеми, ENC28J60 ініціалізується в повнодуплексному режимі. Відповідно, якщо підключений анодом – то в напівдуплексном. Якщо світлодіод не підключений – стан не визначено. Втім, дуплексний режим можна змінити при ініціалізації.

Лінії даних ENC28J60 є 3,3-вольтовими, проте входи мікросхеми сумісні з 5-вольтовими TTL рівнями. При роботі з 5-ти вольтовими контролерами сигнали від мікроконтролеру до ENC28J60 подаються напряму, а від ENC28J60 до мікроконтролера через перетворювач рівнів на 8-розрядному прийомо-передавачі шини DD3.

Принципова схема мікроконтролерного модуля наведена на рис. 3. У якості мікроконтролера DD1 використовується контролер Microchip розширеної серії МК PIC18F25K22. Основним критерієм вибору є присутність двох модулів приймачів-передавачів USART.

Роз'єм XPR1 використовується підключення модулів прийому-передачі даних по інтерфейсах, що використовуються для зв'язку з обладнанням.

Розміщення XP7 призначене для підключення модуля SPI – Ethernet. До мікроконтролера підключені лінії обміну даними SO, SI, SCK; лінії сигналів керування модулем CS, RST; а також виходи переривань WOL та INT.

Для перемикання режимів роботи використовується клавіатура. При натисканні кнопки генерується переривання INT2 мікроконтролера. Для індикації режимів використовуються світлодіоди VD9 – VD11. Світлодіод VD5 сигналізує подачу живлення в схемі. Якщо

[illegible]

Рисунок 3 – Принципова схема мікроконтролерного модуля

Рознімання XP2 призначене для внутрисхемного програмування мікроконтролера.

Принципова схема модуля UART – RS232 наведена на рис. 4.

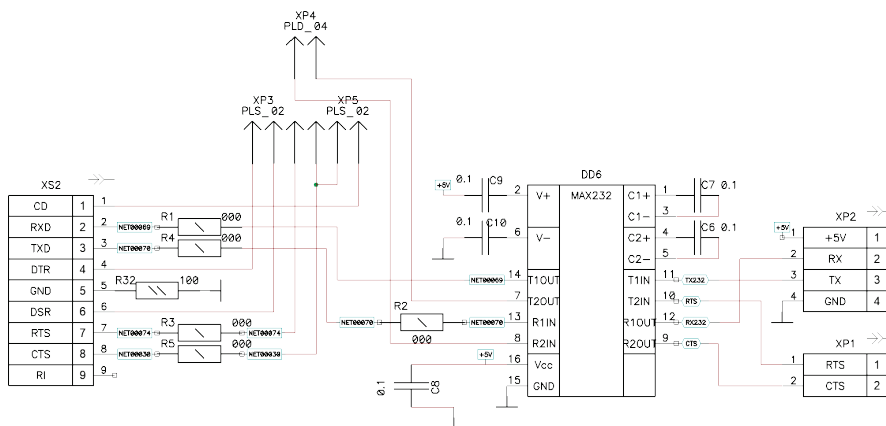


Рисунок 4 – Модуль UART – RS232

У якості перетворювача рівнів використовується мікросхема MAX232. Перемичками XP3 – XP5 можна реалізувати декілька варіантів керування потоком COM порта. Живлення та дані передаються через рознімання XP2. Рознімання XP1 призначене для програмного керування потоком.

Принципова схема модуля UART – RS485 наведена на рис. 5. У якості перетворювача рівнів використовується мікросхема MAX13486EESA. Живлення та дані передаються через рознімання XP7. Для погодження лінії використовується резистор R8: якщо пристрій є кінцевим, то необхідно встановити перемиčku на рознімання XP9. Для дозволу роботи драйверу та ресиверу мікросхеми MAX13486EESA використовуються рознімання XP6 та XP8, на які треба встановити перемички.

Принципова схема модуля UART – CAN наведена на рис. 6.

У якості перетворювача рівнів використовується мікросхема MCP2551. Живлення та дані передаються через рознімання XP7. Для погодження лінії використовується резистор R8: якщо пристрій є кінцевим, то необхідно встановити перемиčku на рознімання XP9.

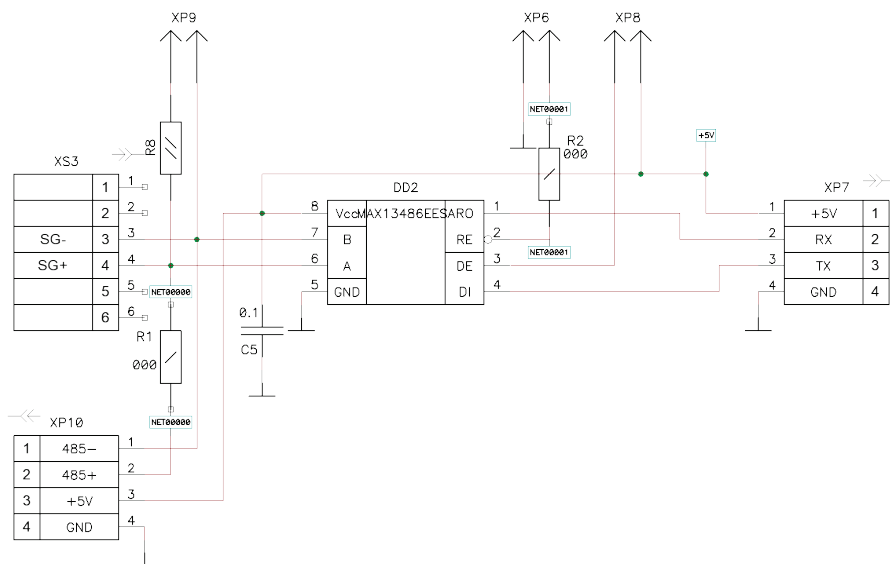


Рисунок 5 – Модуль UART – RS485

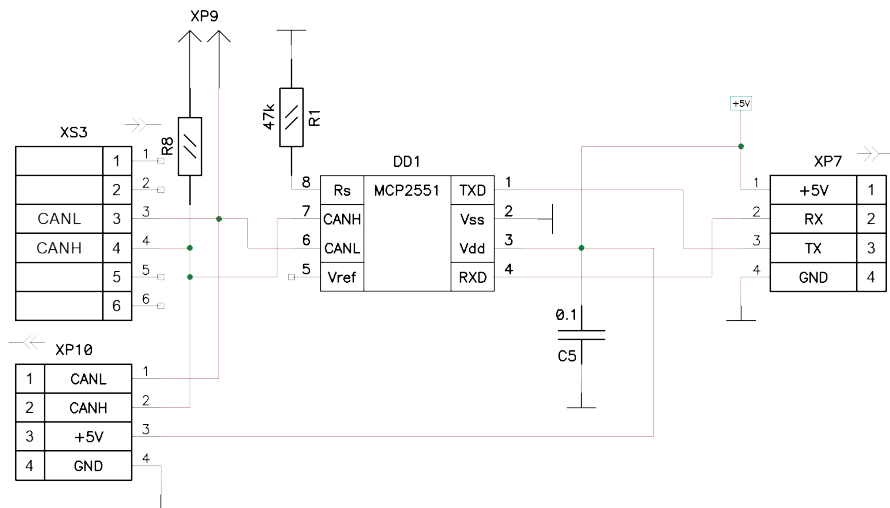


Рисунок 6 – Модуль UART – CAN

Принципова схема модуля гальванічної розв'язки наведена на рис. 7.

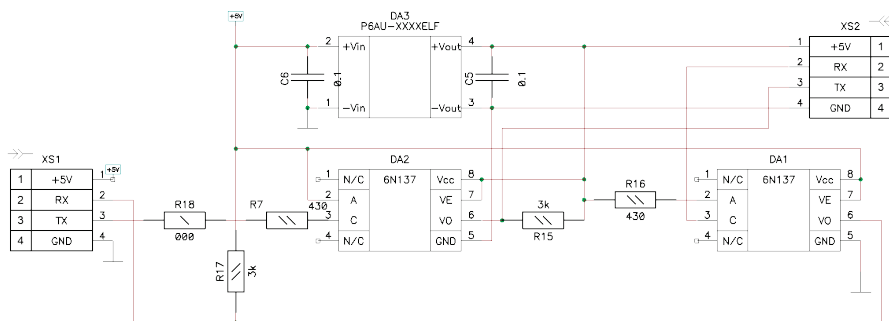


Рисунок 7 – Модуль гальванічної розв'язки

На мікросхемі DA3 реалізована гальванічна розв'язка по лініях живлення. Розв'язка по лініям даних реалізована на оптопарах DA1 та DA2. Так як оптопари 6N137 мають вихід з відкритим колектором використовуються резистори R15, R17, що підтягують вихід оптопари до +5 В.

Програмна частина реалізована на основі стека TCP/IP на мікроконтролері Microchip PIC18. Програмне забезпечення реалізує функції TCP Server, до якого підключається TCP клієнт, який реалізовано програмно на ПК. У сукупності програмно-апаратне забезпечення являє собою так званий Ethernet to Serial bridge.

При розробці нових екземплярів підводної техніки інформаційну частину програмного забезпечення на стороні ПК може бути реалізовано шляхом впровадження функцій TCP клієнта. Якщо модернізується вже існуючі підводні апарати, то програмне забезпечення для ПК може бути вже написаним та використовувати фізичні послідовні порти ПК для вводу-виводу. У даному випадку інформаційний обмін може бути реалізовано шляхом використання спеціалізованих драйверів віртуальних послідовних портів. Шляхом тестування подібного програмного забезпечення визначено, що найбільш функціональним є Null-modem emulator [3] це драйвер віртуального послідовного порту Windows, який працює в режимі ядра (kernel-mode driver), з відкритим вихідним кодом, доступний під захистом ліцензії GPL. Null-modem

emulator дозволяє створювати необмежену кількість пар віртуальних СОМ-портів. Кожна пара СОМ-портів складається з двох СОМ-портів, віртуально з'єднаних один з одним каналом даних. Вихід одного СОМ-порту пари з'єднується з входом іншого СОМ-порту пари, і навпаки. Отже, можна використовувати будь-яку пару для з'єднання будь-якої однієї програми, розрахованої на роботу з СОМ-портом, з іншим додатком, що також працює з СОМ-портом, і вони будуть передавати дані один одному. Єдиним знайденим недоліком даного програмного забезпечення є відсутність цифрового підпису драйверів, що ускладнює встановлення у сучасних операційних системах.

Для тестування стабільності роботи було зібрано стенд з обладнання, що використовує послідовний інтерфейс для інформаційного обміну. На стороні ПК зв'язок відповідають 3 пари послідовних портів, об'єднаних одним концентратором (рис.8):

- Пара COM3-TCP відповідає за зв'язок з обладнанням. 172.24.10.12 – IP адреса перетворювача Ethernet – RS232;
- Пара COM5-Software призначена для опитування та видачі параметрів за допомогою існуючого програмного забезпечення;
- Пара COM7-Terminal Software призначене для діагностики за будь-якого термінального ПЗ, наприклад, Putty.

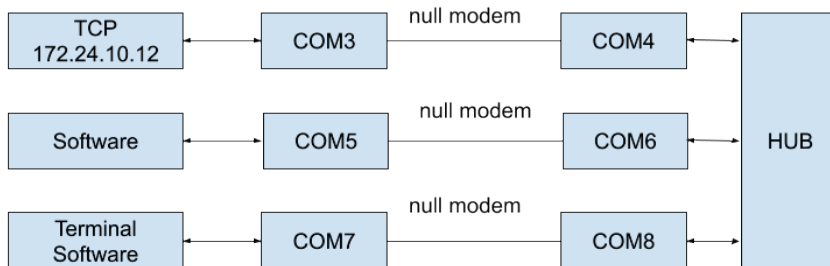


Рисунок 8 – Схема послідовних портів

Комерційна експлуатація даного обладнання у режимі 24/7 на протязі декількох тижнів показала роботоспроможність даної схеми,

стабільність виводу параметрів у стандартне програмне забезпечення для ПК, широкі можливості по маршрутизації потоків даних між віртуальними послідовними портами та можливість перехвату потоку даних, його аналізу та передачі у інше програмне забезпечення, відмінне від стандартного.

Висновки: Розроблено простий та функціональний перетворювач інтерфейсів Ethernet – RS232/RS485/CAN, що може бути використаний як для розробки нових систем керування підводними апаратами, так і для модернізації вже існуючих систем. Широкі можливості маршрутизації потоків даних віртуальних послідовних портів надають гнучкі інструменти розробки та налагодження програмного забезпечення. Універсальність платформи дозволяє її використання у системах віддаленого керування промисловим обладнанням, у діагностиці автомобільних бортових систем, у системах передачі даних від торговельного обладнання та ін.

Список літератури:

1. Емец, С. (2003) Реализация стека TCP/IP на микроконтроллере Microchip PIC18. Компоненты и технологии, 3.
2. Nilesh Rajbharti. (2002) The Microchip TCP/IP Stack. Application Note 833. Відновлено 3
<https://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00833b.pdf>
3. Null-modem emulator (com0com). Відновлено 3
<http://com0com.sourceforge.net/>

УДК 629

СИСТЕМА ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ПРИВ'ЯЗНОГО ПІДВОДНОГО АПАРАТУ

***Автор:** Чепиженко С.О., магістрант, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна*

***Науковий керівник:** Бабкін Г.В., к.т.н, доцент НУК, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна*

Розширення масштабів науково-дослідних та розвідувальних робіт у глибинах Світового океану, а також інтенсивне освоєння родовищ нафти та газу на шельфі багатьох країн призвело до значного зростання

кількості підводних об'єктів та апаратів (ПА). Грандіозність завдань освоєння морських глибин може бути пояснена лише двома цифрами: сам океан займає 71% поверхні Землі, а обсяг його водних мас у 18 разів перевищує розташований вище рівня моря обсяг материків.

Дистанційно керований підводний апарат (ДКПА) ефективно використовуються не тільки в нафті та газодобувній галузі. Вони підходять до виконання широкого спектра підводних робіт. Світовий досвід застосування цих апаратів говорить, що без використання ДКПА неможливо уявити проведення обстежувальних робіт в акваторіях морів, океанів і на внутрішніх водах, здійснення рятувальних та пошукових операцій затонулих об'єктів, гідрографічні та біологічні дослідження на всіх глибинах світового океану.

Конструкція ДКПА являє собою, по суті, підводну установку, що саморухається, яка управляється і отримує електроживлення з поверхні або від автономного джерела живлення. Власне апарат є платформою, на яку встановлюються рушії, а також різні прилади та інструмент для виконання робіт під водою. Як правило, основою конструкції ДКПА є рама, виконана з металу або композитного матеріалу, спеціальні елементи, що забезпечують йому нейтральну плавучість. Електронні прилади керування та контролю розміщуються у міцних контейнерах, розрахованих на максимальну глибину занурення апарату. Кожен ДКПА має кілька рушіїв, що забезпечують рух апарату у трьох напрямках: поздовжньому, поперечному та вертикальному. Іноді рушії роблять поворотними.

Використання науково-дослідної, фотографічної та телевізійної апаратури вимагає застосування потужних освітлювальних приладів та пристроїв із значним енергоспоживанням, що працюють як у тривалому, так і в імпульсному режимах. Сумарна потужність струмоприймачів телекерованих підводних апаратів досягає кількох кіловат, тому питання енергопостачання ТПА набувають дуже важливого значення при проектуванні підводних апаратів.

Вибір систем енергоживлення (СЕЖ) ДКПА визначається низкою вимог, серед яких головну роль відіграють величина потужності, час безперервної роботи без підняття апарату на борт забезпечує судна і обсяг інформації, якою обмінюються між собою апарат і судно, що забезпечує.

Вибір необхідних потужностей СЕЖ ДКПА істотно впливає масогабаритні характеристики як основних пристроїв, які входять до складу СЕЖ ДКПА, а й самого ДКПА і кабель-тросу [1, 2].

Слід зазначити, що на сьогоднішній день розробка та створення ефективних та високонадійних ДКПА значною мірою залежить від удосконалення систем енергопостачання, а саме оптимізації сполучення інформаційного та енергетичного каналів передачі енергії по єдиному кабель-тросу та забезпечення стабільної напруги на споживаючих навантаженнях при найменших масогабаритних показниках. Тому теоретичні дослідження таких систем та питання їх проектування надзвичайно актуальні та мають практичну цінність.

Усі СЕЖ ДКПА можна класифікувати залежно від місця розташування первинного джерела електроенергії: СЕЖ з автономним джерелом електроенергії на ДКПА та СЕЖ, підключені до електричної мережі судна-носія. У свою чергу СЕЖ ДКПА, підключені до мережі судна, що забезпечує, в залежності від передачі енергії по кабель-тросу на підводний апарат поділяються на СЕЖ змінного і постійного струму.

Основною перевагою СЕЖ з автономним джерелом електроенергії на ДКПА є гальванічна розв'язка її силових ланцюгів та каналу зв'язку, що дозволяє до мінімуму знизити перешкоди у каналі зв'язку. До недоліків слід віднести: обмежений час роботи, що визначається ємністю акумуляторів; значні масогабаритні параметри бортової частини СЕЖ, що призводить до додаткових механічних навантажень на кабель-трос; посилений знос кабель-троса через часті підйоми-спуски ДКПА для заряду акумуляторів [2].

Перераховані вище недоліки, а також високі експлуатаційні витрати вказують на доцільність заміни автономного живлення СЕС централізованим від судна, що забезпечує.

Вимогам, що висуваються до СЕЖ ДКПА з централізованим живленням від судна-носія найбільш повно задовольняє СЕЖ з об'єднаним енергетичним та інформаційним каналом. Основні труднощі під час її реалізації пов'язані із захистом інформаційного каналу від перешкод із боку енергетичного каналу.

Список літератури:

1. Хмельнов, И.Н. Необитаемые подводные аппараты / под ред. И.Н. Хмельнова. – Владивосток: Российская инженерная академия. Дальневосточное отделение, 1996. – 130 с.
2. Ястребов, В.С. Электроэнергетические установки подводных аппаратов / В.С. Ястребов, А.А. Горлов, В.В. Симинский. – Л.: Судостроение, 1986. – 208 с.

УДК 629

ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ПРИВ'ЯЗНОГО ПІДВОДНОГО АПАРАТУ

***Автор:** Шевяков В.О., магістрант, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна*

***Науковий керівник:** Бабкін Г.В., к.т.н, доцент НУК, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна*

В наш час підводні апарати мають величезну область застосування і використовуються для наукових досліджень, пошукових і аварійно-рятувальних операцій, а також виробничих робіт під водою, для проведення геологічних і геофізичних вимірювань поблизу океанічного дна з метою вивчення геологічної будови дна океану, складу створюваних його порід, пошуку артефактів в Світовому океані, а також при експлуатації, огляду і ремонту бурових платформ і т.п.

У XX столітті, столітті техніки й електроніки, підводні експедиції одержали новий імпульс. Ведуться акустичні, гідрологічні, гідрохімічні, геофізичні, метеорологічні та біологічні спостереження і дослідження. З'явилися спеціальні науково-дослідні судна, автономні буйкові станції, підводні лабораторії, найрізноманітніші батискафи й підводні човни. Океан вивчається як зсередини – на великих і малих глибинах, так і з космосу. Однією з найвідоміших програм вивчення океану в XX столітті були експедиції Тура Хейєрдала. Ці міжнародні екіпажі побудували по малюнках, знайденим у Древньому Єгипті суду з очерету і папірусу. Зв'язавши їх особливим способом, вони зробили

тривалі морські переходи на кораблях "Ра-1" і "Ра-2", довівши, що стародавні єгиптяни могли плавати на великі відстані. Жак Ів Кусто зі своєю командою вносить величезний внесок у справу вивчення океану. Його звіти ми можемо бачити по телевізору, а учені користуються його спробами та лабораторними дослідженнями.

Інтереси природознавства, використання мінеральних ресурсів, прогноз стихійних лих, та й просто погоди, проблема штучного регулювання біологічної продуктивності вимагають постійного і широкого вивчення Океану. Щоб берегти цей резервуар життя на планеті, також і навіть більш ніж необхідно його знати. Для цього в наш час використовують підводні апарати.

Підводний апарат – технічний засіб що переміщується в товщі води і (або) по дну і використовується для наукових досліджень, пошукових і аварійно-рятувальних операцій, а також виробничих робіт під водою. Зокрема, підводний апарат застосовуються для проведення геологічних і геофізичних вимірювань поблизу океанічного дна з метою вивчення геологічної будови дна океану, складу створюваних його порід, пошуку артефактів в Світовому океані, а також при експлуатації, огляду і ремонту бурових платформ і т.п.

Підводні апарати діляться на 3 основні класи:

- населені нормобаричні;
- населені гіпербаричні;
- ненаселені (телекеровані).

Підводні апарати класифікуються також за характером переміщень у водному середовищі – на буксирувані, плаваючі, що переміщаються (крокуючі) по ґрунту; за способом подачі електроживлення – на прив'язні, автономні й комбіновані; по глибині проведення робіт – для малих глибин (до 600 м), середніх глибин (до 2000 м) і глибоководні (над 2000 м).

За типом виконуваних робіт ПА поділяються на 6 основних видів:

а) Найпоширенішою групою апаратів є робочі. Вони призначені для безпосередньої зміни підводного середовища та ґранту для проведення підводно-технічних операцій. Для цього вони обладнані різного роду маніпуляторами, які можуть бути у вигляді схоплення, різача, абразивного круга і т. д. Їх застосовують при зведенні гідротехнічних споруд, особливо при зведенні мостів, бурових вишок і т. д.

б) Друга за чисельністю група підводних апаратів – інспекційні. Призначені для технічного обслуговування гідротехнічних споруд і трубопроводів. Для якісного проведення наведених робіт дані апарати повинні бути обладнані якісною відеоапаратурою та освітлювальним обладнанням, що по суті являє собою відеобокс. Так само вони повинні володіти хорошими маневровими властивостями і чітко позиціонуватися над точкою або рухатися прямолінійно без істотних стрибків уздовж протяжного об'єкта для отримання якісного відеосигналу. При необхідності даний вид підводних апаратів обладнують спеціалізованими приладами типу товщиноміра, датчика, електрохімічного потенціалу і т. д.

в) Науково-дослідні ПА призначені для проведення різних досліджень стану ґрунту і товщі води з можливістю взяття проб та заміру гідрофізичних, хімічних, електромагнітних та радіоактивних полів. Такий широкий спектр обстеження потребує наявності маніпуляторів, різних приладів і датчиків.

г) Спеціальні ПА виготовляються з метою проведення складних специфічних завдань переважно у військовій галузі. Для них пред'являються, в залежності від поставленої задачі, високі вимоги до випромінювання фізичних полів, рівня шуму, плавного маневрування і чіткого позиціонування поблизу як правило небезпечного об'єкта. Наприклад до таких робіт можна віднести розмінування або робота в агресивному середовищі. Важливим для цього є отримання хорошого, якісного відеосигналу і стійкість до корозійних процесів матеріалів, з яких виготовляється ПА.

д) Спортивно-туристичні ПА призначені для занурення людини під воду із забезпеченням повної безпеки і мають за мету спостереження різних природних і культурних об'єктів під водою.

е) Пошукові ПА призначені для виконання пошукових робіт з метою знаходження підводних об'єктів на ґрунті або в товщі води. Ефективне виконання даного виду робіт не може здійснюватися без забезпечення таких характеристик: максимальний кут нахилу камери і освітлення, максимальне перекриття оглядової ділянки при обраній технології пошуку. Даний вид ПА часто використовується в підводній археології для пошуку різного роду артефактів, предметів, які мають історичну цінність і т. д.

Список літератури:

1. Блінцов, В.С. Особливості організації та проведення підводно-технічних робіт підрозділами МНС України та науковими установами-розробниками підводних апаратів [Текст] / В.С.Блінцов, М.Г. Грицаєнко // Підводна техніка і технологія: Матеріали всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю. – Миколаїв: НУК, 2011. – С. 143-147.
2. Мосалев, В. Дистанционно управляемые и автономные подводные аппараты ВМС зарубежных стран: [Текст] / В. Мосалев // Зарубежное военное обозрение. – 2006. – № 6. – С. 56-66.
3. Блинцов, В.С. Концепция создания системы мониторинга подводной обстановки морской акватории [Текст] / В.С.Блинцов, Чан Там Дык // Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: Матеріали міжнародної науково-технічної конференції. – Миколаїв: НУК, 2011. – С. 523-526.
4. Бабкін, Г.В. Математичні моделі та методики будівництва безекіпажних підводних апаратів: Методичні вказівки / Г. В. Бабкін, Ж. Ю. Бурунина, А. М. Войтасик, О. П. Ключков, В. І. Корицький, А. С. Сіривчук // Під загальною редакцією д.т.н. Блінцова В. С. – Миколаїв: НУК, 2018. – 52 с.
5. Blintsov V.S., Babkin G.V. Theoretical basis of design and production of marine robotics / Prospects and priorities of research in science and technology: Collective monograph. Vol. 1. Riga, Latvia : "Baltija Publishing", 2020. 320 p. P.25-43.

СЕКЦІЯ 3. НОСІЇ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПІДВОДНО- ТЕХНІЧНИХ РОБІТ

УДК 629.58

СУЧАСНІ ЗАВДАННЯ СТВОРЕННЯ І ЗАСТОСУВАННЯ ЗАСОБІВ МОРСЬКОЇ РОБОТОТЕХНІКИ В ІНТЕРЕСАХ УКРАЇНИ

Автори: Блінцов В.С., д.т.н., професор, директор НДІ підводної техніки; Блінцов О.В., д.т.н., професор, керівник науково-дослідної лабораторії «Дельта», Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Сучасні умови розвитку такого високотехнологічного сегменту світової науки як морська робототехніка для розробників, виробників і замовників в Україні характеризуються обмеженими фінансовими, технологічними і часовими ресурсами. Основне завдання полягає не просто в забезпеченні відповідності світовому рівню розвитку морської робототехніки по класах і функціональності, а в створенні широкого спектру функціональних, доступних за ціною й рівнем складності експлуатації засобів морської робототехніки (ЗМР) для вітчизняних і закордонних користувачів.

На сьогодні розвиток ЗМР спостерігається за наступними основними напрямками:

- безекіпажні надводні судна (БНС, в англomовній літературі – unmanned surface vessel, USV);
- ненаселені підводні апарати (НПА, в англomовній літературі – autonomous underwater vehicles, UUV), до яких відносяться автономні підводні апарати (АНПА, в англomовній літературі – autonomous underwater vehicles, AUV) та прив'язні підводні апарати (ППА, в англomовній літературі – remotely operated vehicles, ROV);
- безпілотні літальні апарати (БЛА, в англomовній літературі – unmanned aerial vehicles, UAV).

До основних напрямків застосування ЗМР у провідних морських країнах світу відносяться:

web-site: conference.nuos.edu.ua | email: conference@nuos.edu.ua; tel (+380512) 709444; 709105|

- природоохоронні задачі;
- задачі промислового будівництва на шельфі;
- аварійно-рятувальні роботи;
- задачі з пошуку та видобування сировинних та мінеральних ресурсів;
- задачі з вивчення Світового океану;
- підводна археологія;
- воєнні задачі.

Актуальність розробки, створення і впровадження ЗМР в Україні підтверджується низкою міжнародних документів та рішеннями Президента й Уряду України. Варто відзначити деякі з них, зокрема:

проголошенням у 2017 р. Генеральною Асамблеєю ООН Десятиліття наук про океан в інтересах стійкого розвитку (2021-2030 рр.), спрямованого на стимулювання науки про Світовий океан і накопичення знань із метою зупинення тенденції до погіршення стану океанської екосистеми й стимулювання нових можливостей для її збереження та стійкого розвитку [1];

указами Президента України та постановами Уряду України щодо необхідності розвитку роботизованих морських технологій [2];

наявністю у складі МОН України науково-дослідного судна «Ноосфера», призначеного для дослідження Світового океану і, зокрема, Антарктиди [3];

підготовкою в НУК вітчизняних і зарубіжних фахівців за напрямком “Sea Robotics” згідно одному зі стратегічних напрямків розвитку вищої освіти в Україні [4].

Крім того, територіальні води України містять значну кількість артефактів, для обстеження та підйому яких необхідним є залучення ЗМР [5].

Очевидно, що розвиток вітчизняної морської робототехніки має ґрунтуватись на позитивному досвіді провідних морських країн світу з урахуванням затребуваності у роботизованих технологіях українських підприємств. Тому розглянемо основні тренди розвитку морської робототехніки, які мають місце у країн – світових лідерів.

Аналіз світового досвіду створення й застосування БНС свідчить, що до переваг такого виду ЗМР відносяться підвищення безпеки судноплавства й зменшення чисельності екіпажа на борту, а також мож-

ливість вдосконалення існуючих та створення принципово нових систем керування судами. При цьому екіпаж автоматизованого судна одержує вчасно інформацію для прийняття рішень і підтримку з боку кваліфікованого берегового персоналу, судноплавна компанія одержує можливість контролювати все, що відбувається на судні, оптимізувати його рух і оперативно впливати на рішення, а судовласники, страхові компанії, морські адміністрації – безпрецедентну прозорість і високу достовірність інформації про рух і стан суден.

Очікується, що технології БНС дозволять виключити людський фактор з процесу керування руху. З іншого боку, впровадження таких БНС-технологій може породити безробіття, тому що частину екіпажів суден (а у перспективі – екіпажі у повному складі) замінить автоматика. Ремонтний персонал при цьому повинен бути дуже високої кваліфікації. Адже крім механіки, буде потрібно ремонтувати електроніку, тому для співробітників необхідно буде проводити навчальні тренінги й курси. Однак у цілому автоматизація дозволяє спростити керування судном на основі готових програмних рішень. Таким чином, теоретично з'явиться можливість використовувати екіпаж без великого досвіду плавання.

Крім підвищення рівня безпеки й виключення людського фактору при керуванні, впровадження системи радіокерування вигідно завдяки здешевленню конструкції суден, збільшенню місткості й скороченню операційних витрат на екіпаж. Прогнозується, що впровадження масового глобального використання безекіпажних суден може зайняти кілька десятиліть: спочатку компанії будуть використовувати судна з дистанційним керуванням і скороченою чисельністю екіпажа, потім з'являться повністю автономні судна.

До головних поточних завдань широкого впровадження БНС у морську практику відносять розробку й апробацію технологій автоматичного судноводіння та дистанційного керування суднами. Однак, аналіз перспектив практичного створення БНС в інтересах України показує, що до головних завдань їх розробки слід віднести також проблему надійності функціонування виконавчих механічних та електро-механічних вузлів і систем БНС.

Тому актуальною прикладною науковою проблемою є розробка й дослідження інтелектуальних алгоритмів контролю й діагностики технічного стану виконавчих механізмів і датчиків БНС, у першу чергу, на основі нейронних мереж і алгоритмів нечіткої логіки.

Практичне створення й застосування БНС в Україні необхідно вирішувати у наступних основних напрямках:

- визначення ЦКБ-проектувальника та заводу-будівельника БНС;
- визначення наукової установи для теоретичного супроводу процесів розробки, будівництва та експлуатації БНС;
- визначення навчального закладу для підготовки фахівців з проектування й експлуатації БНС.

Аналіз світового досвіду створення й застосування НПА (UUV) показує, що ринок ненаселених підводних транспортних засобів у 2020 році приніс 4 104,2 мільйона доларів доходу [6]. Вказаним ринком керує зростаюча потреба в морському охоронному обладнанні, удосконалення систем моніторингу підводної обстановки та пов'язане з цим збільшення витрат урядів зарубіжних країн на закупівлю UUVs.

АНПА широко використовуються для підготовки карт морського дна до створення підводної нафтогазової інфраструктури.

Категорії ринку UUVs за ознакою застосування — це оборонні, комерційні, наукові дослідження та інші. До 2030 року найшвидше зростання буде спостерігатися в комерційній категорії, оскільки UUVs широко використовуються для картографування морського дна, глибинних досліджень, будівництва трубопроводів, морського буріння, кабельної прокладки та багатьох інших комерційних цілей.

Особливу актуальність, у тому числі і для України, мають розробки АНПА транспортного типу, які призначені для доставки корисних вантажів на значні відстані [7-9]. Підводні апарати такого типу потрібні для реалізації тривалих підводних місій, коли вони будуть перевозити важкі корисні вантажі, що дає можливість зменшити залежність від різних типів логістичних технологій і можливостей надводних суден, особливо в складних гідрометеорологічних умовах.

Попередній аналіз проблеми створення АНПА транспортного типу свідчить, що для їх повномасштабного виробництва в Україні необхідно розв'язати низку наступних наукових завдань:

– удосконалення теорії проектування АНПА транспортного типу на основі використання останніх досягнень у галузях гідродинаміки, матеріалознавства, енергетики, електромеханіки, електроніки, інформатики та проектного менеджменту;

– удосконалення теорії автоматичного керування АНПА на основі залучення теорії штучного інтелекту та методів групового керування рухом;

– організація підготовки фахівців для напрямку проектування та експлуатації АНПА транспортного типу.

Вітчизняні організації, які ведуть свою виробничу діяльність на морі, мають потребу також і в прив'язних підводних апаратах, оскільки існує велика кількість підводних робіт на мілководних акваторіях держави – пошук, обстеження і документування підводних об'єктів, виконання інспекції технічного стану гідротехнічних споруд, супровід водолазних робіт тощо. Для виконання таких робіт доцільно залучати прості за архітектурою ROV зарубіжного виробництва, які за своїми ціновими характеристиками вигідно відрізняються від ППА вітчизняного виробництва в силу серійності їх виробництва. Позитивним прикладом такого підходу є ROV китайського виробництва, придбаний Головним управлінням ДСНС України в Миколаївській області [10].

Розглянемо тепер можливості застосування безпілотних літальних апаратів у задачах, актуальних для морської галузі.

На цей час можна виділити наступні пріоритетні напрямки використання БЛА (UAV):

- сільське господарство;
- екстрені служби (пожежні, поліція, швидка допомога);
- енергетика й видобуток корисних копалин;
- будівництво;
- геодезія (картографія);
- транспортування й доставка;
- державні й муніципальні служби;
- природоохоронні служби;
- наука та освіта;

- зв'язок;
- фото й відеозйомка;
- спорт і розваги.

Щодо застосування БЛА для морської діяльності, то тут слід вказати на деяке відставання, оскільки специфіка морського середовища вимагає розробки спеціальних вимірювальних приладів та систем для успішного застосування БЛА у практичній діяльності морських організацій. Разом з тим, спостерігається позитивний зарубіжний досвід застосування UAV для дослідження популяцій морських тварин, забруднення сміттям берегової лінії та забруднення водного середовища нафтопродуктами [11-14].

Для України також актуальним є опанування світового досвіду в застосуванні БЛА для дослідження водного середовища (внутрішніх водойм та морських територіальних вод). Зокрема, перспективним є залучення БЛА для розв'язання завдань природоохоронного моніторингу водних акваторій, обстеження прибережних зон рекреаційних територій, а також для розв'язку деяких задач оборонного характеру при створенні системи захисту держави з морського напрямку.

Досвід авторів у розробці, створенні та застосуванні підводних засобів робототехніки вказує на доцільність формування додаткових завдань, актуальних на сьогодні для вітчизняних програм створення ЗМР всіх типів:

- створення резидентної робототехніки, тобто створення ЗМР, спроможних виконувати тривалі за часом морські пошукові та інспекційні місії;
- розробку відмовостійких елементів, вузлів і систем ЗМР, які б передбачали автоматичний чи дистанційно реалізований контроль їх працездатності;
- підготовку кваліфікованого персоналу для створення та експлуатації ЗМР, навчання якого ґрунтувалось би на передових науково-методичних технологіях.

Висновок.

Прикладне науково-технічне завдання створення і застосування засобів морської робототехніки належить до актуальних завдань загальнодержавного значення, а його успішний розв'язок можливий у рамках державної програми створення засобів морської робототехніки в інтересах вітчизняних організацій цивільного та оборонного спрямувань.

Список літератури:

1. ООН оголосила десятиліття наук про океан.
https://lb.ua/society/2017/12/06/383994_oon_obyavila_desyatiletie_nauk.html
2. Указ Президента України від 20 серпня 2021 року № 372/2021 «Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 18 червня 2021 року «Про Стратегію розвитку оборонно-промислового комплексу України». <https://www.president.gov.ua/documents/3722021-39733>
3. Криголам “Ноосфера”. <http://uac.gov.ua/icebreaker-noosphere/>
4. Стратегія розвитку вищої освіти в Україні на 2021-2030 роки. Міністерство освіти і науки України, 2020. 71 с.
<https://mon.gov.ua/storage/app/media/rizne/2020/09/25/rozvitku-vishchoi-osviti-v-ukraini-02-10-2020.pdf>
5. Підводна археологія північного Причорномор'я : Стан та перспективи розвитку : монографія / М. М. Ієвлев, О. В. Чубенко, В. С. Блінцов, А. В. Надточий. – Миколаїв, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, 2019. – 336 с.
6. Unmanned Underwater Vehicles Market Generated \$4,104.2 Million Revenue in 2020: P&S Intelligence.
<https://www.prnewswire.com/news-releases/unmanned-underwater-vehicles-market-generated-4-104-2-million-revenue-in-2020-ps-intelligence-301332201.html>
7. Каталог наукової продукції за 2019 рік. – Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, 2019. – 91 с.
8. Блінцов В.С., Алоба Л.Т., Бабкін Г.В., Войтасик А.М., Ключков О.П., Сіривчук А.С. Проект створення автономного ненаселеного підводного апарата вантажного типу. Збірка матеріалів I Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми сталого розвитку морської галузі». – Херсонська державна морська академія, 2021. С. 6-9.
9. Design of an Autonomous Underwater Maintenance Dredger. A Teaser to the maritime industry. – C-JOB. Dedicated Naval Architects, 2020. 12 pages.
10. Грицаєнко М.Г., Шликов А.О. Організація робіт з проведення акваторії внутрішніх вод Чорного моря, річок та водоймищ у межах Миколаївської області у безпечний стан. XI Всеукраїнська науково-технічна кон-

ференція з міжнародною участю «Підводна техніка і технологія». – Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, 2021.

11. Cecilia Martin, Stephen Parkes, Qiannan Zhang, Xiangliang Zhang, Matthew F. McCabe and Carlos M. Duarte. Use of Unmanned Aerial Vehicles for Efficient Beach Litter Monitoring. Marine Pollution Bulletin 131(Part A), June 2018. DOI:10.1016/j.marpolbul.2018.04.045

12. Elizabeth Bevan, Thane Wibbels, Blanca M.Z. Najera, Marco A.C. Martinez, Laura A.S. Martinez, Francisco I. Martinez, Javier M. Cuevas, Tiffany Anderson, Amy Bonka, Mauricio H. Hernandez, Luis Jaime Pena & Patrick M. Burchfield. Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) for Monitoring Sea Turtles in Near-Shore Waters. http://www.seaturtle.org/mtn/archives/mtn145/mtn145-4.shtml?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed%3A+seaturtle+%28SEATURTLE.ORG%29

13. Christopher J. Zappa, Scott M. Brown, Nathan J. M. Laxague, Tejendra Dhakal, Ryan A. Harris, Aaron M. Farber and Ajit Subramaniam. Using Ship-Deployed High-Endurance Unmanned Aerial Vehicles for the Study of Ocean Surface and Atmospheric Boundary Layer Processes. Frontiers in Marine Science, 21 January 2020 | <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00777>

14. İrşad Bayırhan, Cem Gazioglu. Use of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) and Marine Environment Simulator in Oil Pollution Investigations. Baltic J. Modern Computing, Vol. 8 (2020), No. 2, 327-336. <https://doi.org/10.22364/bjmc.2020.8.2.08>

УДК 681.5

КОНЦЕПЦІЯ ТА ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ДО СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МОРСЬКИМ ПРИРОДООХОРОННИМ РОБОТИЗОВАНИМ КОМПЛЕКСОМ

***Автор:** Буссов Д.Є., головний інженер, ДП «Дослідно-проектний центр кораблебудування», м. Миколаїв, Україна*

Вступ.

У сучасному світі часто виникає необхідність виконання операцій морського екологічного моніторингу й ліквідації наслідків техногенних катастроф. Важливим аспектом для своєчасного усунення виниклої небезпеки є моніторинг сформованої ситуації та її нейтралізація.

При цьому застосування технічних засобів спостереження з повітря у вигляді літаків і гелікоптерів, незважаючи на перевагу в оперативності спостереження, істотно програє суднам у технічних можливостях точної класифікації й якості нейтралізації погрози.

Мета роботи – розробка концепції та загальних вимог до системи керування морським природоохоронним робототехнічним комплексом.

Викладення основного матеріалу.

Розглянемо, які фактори можуть бути виділені як переваги суден, як засобів нейтралізації наслідків екологічної катастрофи:

- широкий спектр технічних засобів для моніторингу, ідентифікації та нейтралізації екологічної катастрофи;
- великий запас хімічних, фізичних і енергетичних видаткових матеріалів, необхідний для локалізації або нейтралізації тої або іншої екологічної небезпеки;
- необхідна кількість персоналу для використання всього спектра наявних технічних засобів;
- можливість установки потужних систем зв'язку, передачі даних і спостереження.

До недоліків застосування суден варто віднести їх невисоку в порівнянні з літальними апаратами швидкість, але це, по-перше, є наслідком їхніх фізичних принципів побудови, а по-друге, частково може бути скомпенсоване спланованими місцями базування й координованістю дій аварійних служб.

Розглянемо, які завдання повинне вирішувати сучасне судно екологічного моніторингу.

- ідентифікація потенційно небезпечних ситуацій на морі;
- моніторинг зон техногенних катастроф;
- виконання операцій по ліквідації техногенних катастроф.

Застосування різних типів морських безпілотників, розміщених на судні, дозволить вирішити наступні завдання:

- реалізувати принцип надмірності інформації для одержання достовірної картини обстановки;
- мінімізувати або взагалі виключити знаходження судна з екіпажем у небезпечній зоні.

З появою на борті інтегрованих систем керування (ІСК) судно екологічного моніторингу зможе виконувати не тільки функції збору інформації, але й буде здатним безпосередньо впливати на наслідки екологічних катастроф, використовуючи безпілотні апарати. Тобто, такий об'єкт допустимо буде назвати багатофункціональним роботизованим комплексом моніторингу й нейтралізації екологічних або техногенних катастроф.

Ще одним фактором, що підвищує ефективність суден екологічного моніторингу, є застосування досвіду використання інтегрованих систем керування, збору й обробки інформації від різних джерел, які з успіхом застосовується у військовій сфері. При цьому, основними джерелами інформації для таких суден також повинні бути безпілотні апарати різних типів, керування якими інтегроване в єдину систему.

Застосування такої системи дозволить отримати наступні переваги:

- робити комплексну обробку отриманої інформації;
- виконувати обмін даними зі штаб-квартирами / керуючими центрами;
- дистанційно виконувати керування безпілотними апаратами різних типів для моніторингу зон екологічного лиха та виконувати необхідні роботи для нейтралізації погрози;
- управляти власними технічними засобами судна для спостереження за навколишнім оточенням;
- координувати дії інших суден, що беруть участь у місії по нейтралізації загрози.

Морський роботизований природоохоронний комплекс (МРПК) як об'єкт керування повинен складатися із двох основних компонентів – судна-носія з екіпажем і підсистеми безекіпажних дистанційно керованих (БДК) і автономних апаратів (АА).

Зупинимося більш докладно на кожному з компонентів.

Судно носій з екіпажем має забезпечувати рішення наступних завдань:

- а) доставку безекіпажних апаратів до місця застосування;
- б) планування місії з урахуванням наявних технічних засобів;
- в) спуск/зліт і підйом/посадку безекіпажних апаратів на борт судна;
- г) забезпечення застосування безекіпажних апаратів за призначенням;
- д) перезарядження/дозаправлення, заміну застосовуваних безекіпажних апаратів;

- е) керування безекіпажними апаратами у реальному часі;
- ж) комплексну обробку отриманої інформації, оцінку ефективності застосованих засобів і методів усунення катастрофи;
- з) керування іншими суднами, що беруть участь у рятувальній операції;
- і) обмін інформацією з береговими координуючими пунктами.

Розглянемо можливості реалізації основних завдань.

Завдання доставки безекіпажних апаратів може бути розділене на дві підзадачі:

- достатність внутрішнього простору для розміщення на борту необхідної кількості безекіпажних апаратів;
- необхідний запас морехідності для можливості прибути в район потенційної небезпеки.

Рішення цього завдання лежить у площині проектування й розв'язується на етапі створення технічного завдання до носія, що повинне враховувати перераховані вище вимоги.

Планування повинне здійснюватися з урахуванням наступних факторів:

- мета місії;
- поточні й прогнозовані метеорологічні умови на акваторії;
- набір технічних засобів моніторингу й нейтралізації/впливу на небезпечну обстановку/об'єкт;
- поточна гідрологія моря;
- поточна навігаційна обстановка;

Рішення завдання спуску/зльоту й підйому/посадки тісно пов'язане з рішенням щодо забезпечення застосування апаратів, для чого судно повинне мати можливість виконувати наступні умови:

- бути обладнано стандартними й/або спеціально спроектованими спуско-піднімальними пристроями (СПП), злітно-посадочною площадкою (ЗПП);
- мати керованість на малих швидкостях ходу;
- бути обладнане системою позиціонування в точці й/або на траєкторії;

- мати пристрої для заспокоєння хитавиці, які не залежать від швидкості руху судна;
- мати спеціальні алгоритми руху під час спуска/підйому безекіпажних апаратів на борт (це стосується підводних і надводних апаратів).

Керування всім наявними безекіпажними апаратами (надводними, підводними, літаючими) повинно забезпечувати їх просторовий рух, прийом інформації в реальному масштабі часу, підхід до судна-носія для забезпечення підйому на борт або посадки на ЗПП.

Рішення завдання комплексної обробки отриманої інформації, оцінки ефективності застосованих засобів і методів усунення катастрофи є одним з найбільш складних, тому що в процесі його рішення повинне бути виконане об'єднання інформації з різних джерел, отриманої в різні моменти часу. Результати обробки повинні бути об'єднані з географічною картою даного району моря. На підставі такої комплексної обробки має будуватися висновок щодо оцінки ефективності виконання місії й прогноз подальшого розвитку ситуації.

Виконання цього завдання часто пов'язане з необхідністю координації дій з іншими суднами, що перебувають у безпосередній близькості й, відповідно повинні враховуватися ряд факторів, таких як план застосування безпілотних апаратів, гідрометеорологічна обстановка і рух інших суден у реальному масштабі часу. Таке завдання може бути розглянуте як підзадача керування безекіпажними апаратами й вирішуватися в комплексі для забезпечення максимальної ефективності застосування системи «судно-носії – безекіпажні апарати».

Інформація про поточну обстановку в районі екологічного моніторингу або потенційно небезпечної ситуації повинна передаватися в наземні центри керування. Для цього на судні повинна бути передбачена система обміну даними. На сьогоднішній момент, необхідну пропускну здатність і дальність дії забезпечують супутникові системи зв'язку.

Розглянемо тепер другий компонент МРПК – безекіпажні апарати.

Розвиток морської робототехніки дозволяє на сьогоднішній день виконувати завдання моніторингу як морської поверхні, так і підводної напівсфери без залучення людини в якості безпосереднього виконавця. Такий підхід дозволяє одержати наступні переваги при створенні МРПК:

- підвищити безпеку операцій моніторингу, доставки засобі нейтралізації та нейтралізації наслідків техногенних катастроф;

- знизити вартість проведення операцій.

Розглянемо склад безекіпажних апаратів, що повинен бути в складі МРПК.

Для моніторингу й планування подальших дій МРПК повинен виконати наступні завдання:

- моніторинг поверхні морської акваторії;
- моніторинг ділянок морського дна, де знаходяться затонулі об'єкти;
- моніторинг підводної частини морських об'єктів, що терплять лихо;
- забір проб води з різних глибин;
- застосування хімічних та інших засобів ліквідації небезпеки на акваторії.

Для виконання перерахованих вище завдань до складу МРПК повинні бути включені наступні типи безекіпажних апаратів-роботів:

- автономні підводні апарати;
- дистанційно керовані по кабелю підводні апарати;
- надводні апарати, керовані по радіоканалу;
- літаючі безпілотні апарати.

Для рішення завдань доставки необхідних вантажів або іншого встаткування, а також виконання дій по їх застосування для ліквідації екологічного лиха доцільно використовувати всі перераховані вище типи дистанційно керованих апаратів, за умови, що їхня конструкція буде передбачати можливості транспортування й застосування корисного навантаження.

Для успішного застосування широкої номенклатури апаратів доцільним є застосування єдиної системи керування й обробки інформації. Подібні системи досить широко застосовуються у військовому кораблебудуванні для керування різними технічними засобами з одночасною обробкою отриманої інформації. Такі системи будуються по мережецентричному принципу й забезпечують керування, обробку й видачу рекомендацій для командного складу корабля.

Адаптуючи даний принцип побудови системи керування до МРПК, доцільно делегувати такій комплексній системі керування наступні функції:

- керування всіма безекіпажними апаратами;
- обробку отриманої інформації, з ототожненням і об'єднанням у єдину картину обстановки;
- контроль навігаційної обстановки;
- вироблення рекомендацій з маневрування під час виконання моніторингу й/або нейтралізації небезпечних ситуацій;
- формування пакетів інформації для передачі на берегові центри керування.

Таким чином, застосування комплексної автоматизованої системи керування дозволить наступне:

- централізувати процеси керування й обробки;
- прискорити процес одержання загальної картини морської обстановки;
- мінімізувати апаратну частину систем керування й обробки;
- прискорити процес інформаційного обміну з береговими центрами.

Висновок. У результаті виконаної роботи отримано концепцію та загальні вимоги до системи керування морським природоохоронним робото-технічним комплексом, який містить природоохоронне судно-носії та розташовані на його борту підводні автономні та керовані по кабелю підводні апарати-роботи, безекіпажні судна та безпілотні літальні апарати.

УДК 629.58

ОРГАНІЗАЦІЯ РОБІТ З ПРОВЕДЕННЯ АКВАТОРІЇ ВНУТРІШНІХ ВОД ЧОРНОГО МОРЯ, РІЧОК ТА ВОДОЙМИЩ У МЕЖАХ МИКОЛАЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ У БЕЗПЕЧНИЙ СТАН

***Автори:** Грицаєнко М.Г., к.т.н., начальник Головного Управління Державної служби України з надзвичайних ситуацій у Миколаївській області; Шликов А.О., начальник групи піротехнічних робіт та підводного розмінування Головного управління Державної служби України з надзвичайних ситуацій у Миколаївській області, м. Миколаїв, Україна*

Значна кількість підводних потенційно небезпечних об'єктів, які знаходяться у територіальних водах України, роблять актуальною задачу проведення очищення акваторії морських і внутрішніх водних транспортних шляхів.

Виконуючи завдання з реалізації державної політики у сфері цивільного захисту щодо захисту населення, територій, навколишнього природного середовища та майна від надзвичайних ситуацій, починаючи з 2005 року Головним управлінням Державної служби України з надзвичайних ситуацій у Миколаївській області організовано проведення комплексу заходів, спрямованих на очищення суходпутних територій та акваторій області від вибухонебезпечних предметів часів минулих війн.

З 2009 року виконання заходів з виявлення, знешкодження та знищення вибухонебезпечних предметів в акваторій річок, водоймищ та внутрішніх вод акваторії Чорного моря у межах Миколаївської області покладено на водолазно-піротехнічні підрозділи Головного управління. Тільки за останні 5 років кількість вибухонебезпечних предметів, знайдених у водоймах, склала понад 2000 одиниць.

У 2010 році головним управлінням сумісно з фахівцями Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова було проведено роботу щодо обстеження окремих ділянок акваторії Чорного моря на наявність вибухонебезпечних предметів з залученням двох телекерованих підводних апарата-робота моделі «Софокл» та «Інспектор» (рис. 1).



Рисунок 1 – Підводні апарати виробництва Науково-дослідного інституту підводної техніки Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, залучені до обстеження акваторій Чорного моря

Використання зазначених апаратів продемонструвало переваги роботизованої технології пошуку й обстеження акваторій поблизу затонулих суден та інших об'єктів у порівнянні з традиційними водолазними технологіями.

У результаті наукового узагальнення вказаної роботизованої технології було виконано вдосконалення управління проектами роботизованого очищення акваторій від підводних потенційно небезпечних об'єктів, що знайшло відображення у низці наукових публікацій [1-4].

Тому за підтримки Миколаївської обласної державної адміністрації Головним управлінням придбано безпілотний підводний апарат Charpie HX-100-1, який за своїми характеристиками забезпечує виконання завдань з пошуку, ідентифікації та інспекції затоплених об'єктів (рис. 2).



Рисунок 2 —Безпілотний підводний апарат Charpie HX-100-1

Апарат дозволяє виконувати високоякісне документування процесу та результатів підводних робіт з використанням супутникової навігації (GPS).

Особливі характеристики підводного апарата:

Глибина застосування: до 100 метрів.

Максимальна швидкість: до 4 вузлів.

Корисне навантаження: до 5 кг.

Двигунів: 6 (4 горизонтальних, 2 вертикальних).

Умові застосування:

Температура повітря від -20 до +40°C.

Хвилювання поверхні води: 2-3 бали.

Починаючи з 2020 року зазначений апарат постійно використовується підрозділами Головного управління для виконання завдань з обстеження ділянок акваторії, виконання робіт під водою при пошуку осіб, зниклих безвісті на водних об'єктах та для виконання інших завдань за призначенням.

Фрагменти застосування підводного апарата Charpie наведені на рис. 3.

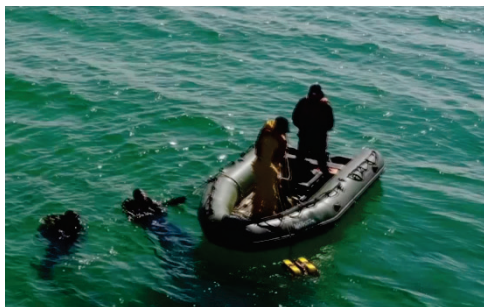


Рисунок 3 – Сучасна технологія застосування підводного апарата Charpie HX-100-1

Під час проведення робіт з обстеження акваторії з використання апарату Charpie площа, на якій проведено обстеження в порівнянні з минулими роками збільшилось в 7 разів.

Залучення апарату дозволяє знизити ризики для особового складу піротехнічних розрахунків, завдяки віддаленню від можливого місця вибуху. За час використання апарату вдалося виявити 186 вибухонебезпечних предметів, що надало змогу в подальшому вилучити їх та знищити їх методом підриву.

Висновки

Використання дистанційно-керованих безпілотних підводних апаратів під час ліквідації імовірних наслідків надзвичайних ситуацій в акваторії Чорного моря та внутрішніх вод надає можливість значно зменшити час обстеження території. Також підвищується якість планування практичних завдань. Виходячи з наявних відеоматеріалів розвідки.

Застосування зазначених апаратів нового покоління в вирішенні завдань Державної служби України з надзвичайних ситуацій вбачається перспективним не тільки під час пошуку та знищення вибухонебезпечних предметів, але і під час виконання інших водолазних робіт.

Список літератури:

1. Блінцов О.В., Грицаєнко М.Г. Телекеровані підводні апарати на службі морегосподарської діяльності Миколаївщини. – Миколаїв: НУК. – «Суднобудування і морська інфраструктура», 2014. – № 1. – С. 28-33.
2. Блінцов В.С., Грицаєнко М.Г. Особливості організації та проведення підводно-технічних робіт підрозділами МНС України та науковими установами-розробниками підводних апаратів. / В. С. Блінцов, М. Г. Грицаєнко // Підводна техніка і технологія: Матеріали всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю. – Миколаїв: НУК, 2011. – С. 147-151.
3. Blintsov V., Hrytsaienko M. Improvement of the management of material and technical resources of water cleaning projects from explosive objects. // Technology Audit and Production Reserves, 2016. – № 6/2(32). – Рр. 51-56. Індексуються в світових наукометричних базах даних і системах (Index Copernicus, Ulrich's Periodicals Directory, РИНЦ)
4. Volodymyr S. Blintsov, Maksym H. Hrytsaienko. Special features of management of the joint projects of water zone clearing by subdivisions of the state emergency service of Ukraine and organizations developing marine robotic vehicles - «Shipbuilding and Marine Infrastructure», № 1(7) – 2017. Р. 141-151. Індексуються в світових наукометричних базах даних і системах (Index Copernicus, Google Scholar, WorldCat).

УДК 629.12

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИЧЕСКИ ПОДОБНЫХ НОСОВЫХ И КОРМОВЫХ ПОДРУЛИВАЮЩИХ УСТРОЙСТВ (СОПЕЛ) НА НОСИТЕЛЕ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ

Автори: Зайцев Волод.В., д.т.н., професор; Зайцев В.В., д.т.н., доцент; Зайцев Д.В., к.т.н., доцент, Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев, Украина

Суда на воздушной подушке амфибийного типа (СВПА) удобно использовать в качестве носителей различной техники и оборудования (рис. 1). Это могут быть модульные лаборатории для проведения подводных исследований, подводные аппараты, беспилотные дроны и т.д. В данном случае преимуществом СВПА является возможность быстрой доставки подводного аппарата к месту исследования и независимость этого процесса от ледовой обстановки, а также глубин акватории на пути от стартовой точки к пункту назначения.

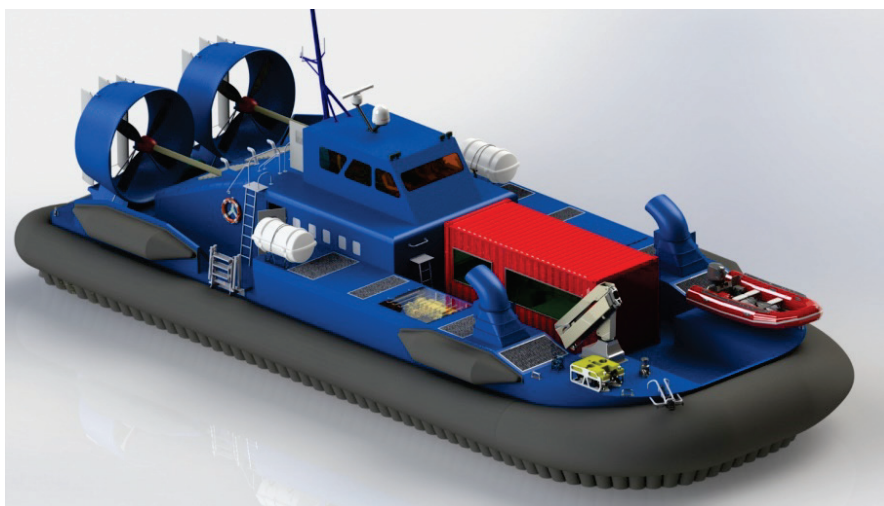


Рис. 1 – СВПА с модульной лабораторией и подводным аппаратом на борту

При этом очень важно чтобы была возможность эффективно маневрировать как на крейсерской скорости при доставке подводного аппарата к пункту назначения, так и на малых скоростях на месте подводного исследования.

Практика эксплуатации СВПА показала, что для этих целей недостаточно в состав их рулевого устройства включать только воздушные рули, а необходимо еще дополнительно обеспечивать управляемость СВПА с помощью подруливающих устройств (ПУ). Существуют различные типы таких устройств: поворотные трастеры (рис. 1) или ПУ в виде встроенных в корпус судна дроссельных заслонок (рис. 2, 3).

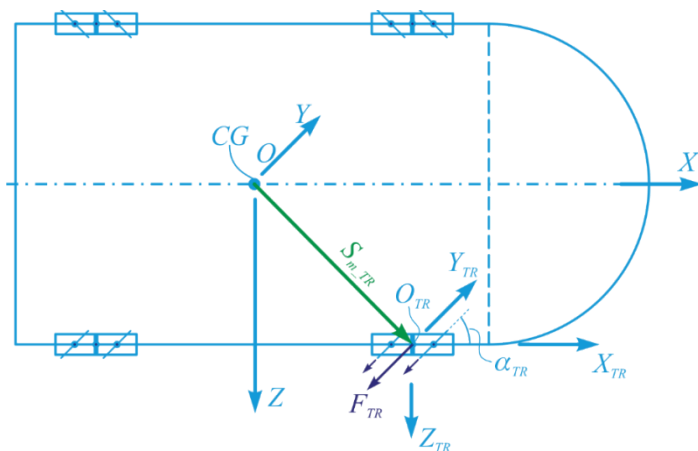


Рис. 2 – Схема расположения ПУ (трастеров)

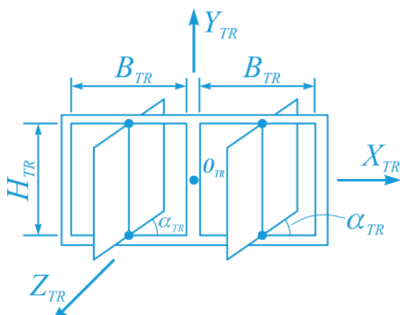


Рис. 3 – Вид на ПУ (трастер)

Подруливающие устройства не зависимо от их типа позволяют управлять судном на малых скоростях и удерживать его на заданном курсе.

Данное исследование относится к подруливающему устройству в виде дроссельных заслонок в отличие от описанного в [1]. Как более эффективный вариант рассматриваются двойные дроссельные заслонки.

Каждое двойное ПУ управляется парой поворотных дроссельных заслонок. Оси вращения заслонок – вертикальные. При повороте заслонок открываются отверстия между областью воздушной подушки и внешней средой, и выходящая струя воздуха создает реактивную силу и крутящий момент.

На СВПА с таким типом ПУ целесообразно устанавливать четыре двойных подруливающих устройства с левого и правого бортов: два носовых ПУ и два кормовых ПУ (рис. 2):

- трастер 1 – носовая часть корпуса, левый борт;
- трастер 2 – носовая часть корпуса, правый борт;
- трастер 3 – кормовая часть корпуса, левый борт.
- трастер 4 – кормовая часть корпуса, правый борт.

Основные геометрические параметры двойного трастера и его локальная система координат отображены на рис. 3.

Как видно из рис. 3, выходные отверстия трастера прямоугольного сечения с размерами каждого

$$B_{TR} \cdot H_{TR},$$

где B_{TR} – ширина одного отверстия трастера, м; H_{TR} – высота отверстий трастера, м.

Положение заслонок характеризуется углом поворота α_{TR} , который может меняться в диапазоне $0^\circ \dots 90^\circ$. Модуль вектора реактивной силы от трастера, F , Н, определен в соответствии с расчетной схемой (рис. 4)

$$F = Q \cdot U \cdot \rho_{AC},$$

где Q – расход воздуха через отверстия трастера, $\text{м}^3/\text{с}$; U – скорость истечения воздуха через отверстия трастера, $\text{м}/\text{с}$; ρ_{AC} – плотность воздуха в соответствующей секции воздушной подушки, $\text{кг}/\text{м}^3$.

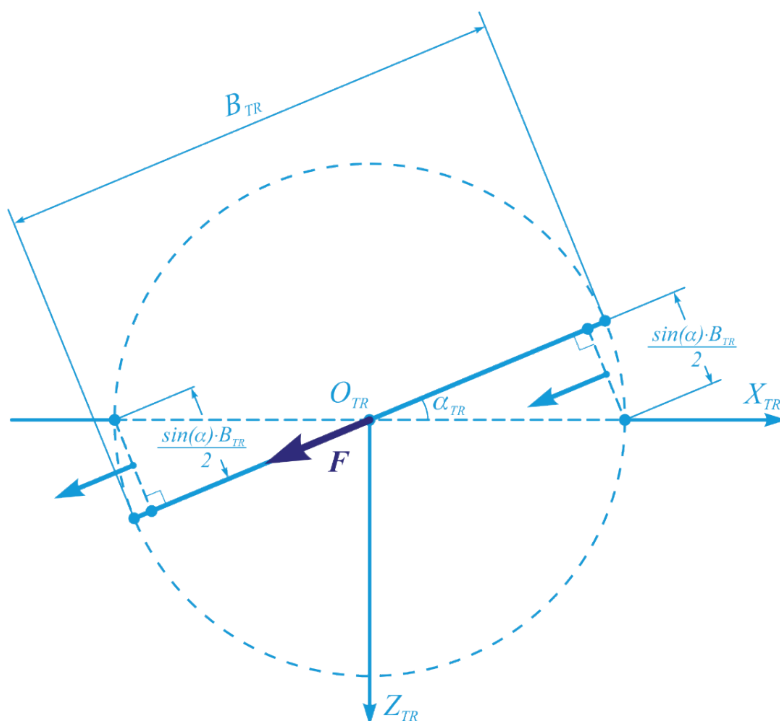


Рис. 4 – Расчетная схема для одной заслонки ПУ (трастера)

Расход воздуха, Q , определяется зависимостью

$$Q = S \cdot \mu \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot P_{AC}}{\rho_{AC}}},$$

где S – площадь истечения воздуха, м^2 ; P_{AC} – давление воздуха в соответствующей секции воздушной подушки, Па; $\mu = 0,6 + 1,45 \cdot 10^{-6} P_{AC}$ – коэффициент поджатия струи воздуха.

Скорость истечения воздуха, U , определяется зависимостью

$$U = \frac{Q}{S} = \mu \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot P_{AC}}{\rho_{AC}}}.$$

Согласно расчетной схеме (рис. 4) площадь истечения воздуха из двух отверстий двойного трастера определяется зависимостью

$$S = 2 \cdot H_{TR} \cdot B_{TR} \cdot \sin(\alpha_{TR}).$$

С учетом приведенных зависимостей преобразуем зависимость для модуля вектора реактивной силы от трастера

$$\begin{aligned} F &= Q \cdot U \cdot \rho_{AC} = 2 \cdot P_{AC} \cdot S \cdot \mu^2 = \\ &= 4 \cdot H_{TR} \cdot B_{TR} \cdot P_{AC} \cdot \sin(\alpha_{TR}) \cdot (0,6 + 1,45 \cdot 10^{-6} P_{AC})^2. \end{aligned}$$

Вектор реактивной силы от трастера в локальной системе координат $O_{TR}X_{TR}Y_{TR}Z_{TR}$ записывается в виде [2, 3]:

$$\begin{aligned} \overrightarrow{F_{TR.loc}} &= \begin{bmatrix} F_{X.TR.loc} \\ F_{Y.TR.loc} \\ F_{Z.TR.loc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -F \cdot \cos(\alpha_{TR}) \\ 0 \\ F \cdot \sin(\alpha_{TR}) \end{bmatrix} = 2 \cdot H_{TR} \cdot B_{TR} \cdot P_{AC} \cdot \mu^2 \cdot \\ &\quad \begin{bmatrix} -\sin(2 \cdot \alpha_{TR}) \\ 0 \\ 2 \cdot \sin(\alpha_{TR})^2 \end{bmatrix} = \\ &= 2 \cdot H_{TR} \cdot B_{TR} \cdot P_{AC} \cdot (0,6 + 1,45 \cdot 10^{-6} P_{AC})^2 \cdot \begin{bmatrix} -\sin(2 \cdot \alpha_{TR}) \\ 0 \\ 2 \cdot \sin(\alpha_{TR})^2 \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

Положение трастера в подвижной СК записывается в виде вектора переноса начала координат от подвижной СК к локальной СК – $\overrightarrow{S_{m.TR}}$.

Момент от силы, вызванной трастером, вычисляется как векторное произведение

$$\overrightarrow{M_{TR}} = \overrightarrow{S_{m.TR}} \times \overrightarrow{F_{TR}}.$$

Таким образом, разработана математическая модель динамически подобных носовых и кормовых подруливающих устройств (сопел) на носителе подводных аппаратов в виде двойных дроссельных заслонок, которую можно использовать как в процессе проектирования СВПА, так и в процессе их имитационного моделирования.

Список литературы:

1. Dmytro Zaytsev, Volodymyr Zaytsev, Valeriy Zaytsev. Definition of Operating Parameters of Hovercraft Bow Thrusters Hovercrafts // Black sea 2014: Twelfth international conference on marine sciences and technol-

ogies. – Varna, Bulgaria: Varna Scientific and Technical Unions– Varna, – 2014. – Р 109–111.

2. Борताковский А.С. Аналитическая геометрия в примерах и задачах: Учеб. Пособие / А.С. Бортаковский, А.В. Пантелеев. – М.: Высш. шк., 2005. – 496 с.

3. Речкалов В.Г. Векторная и тензорная алгебра для будущих физиков и техников: учеб. пособие для вузов / В.Г. Речкалов. – Челябинск: ИИУМЦ "Образование", 2008. – 140 с.

УДК 629

ОГЛЯД ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ СПУСКО-ПІДНІМАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ СУДЕН-НОСІЇВ

***Автор:** Клічановська В.І., магістрант, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна*

***Науковий керівник:** Бабкін Г.В., к.т.н, доцент НУК, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна*

Дослідження океану є актуальною науковою задачею і її вирішення неможливе без використання спеціалізованої підводної техніки. Якщо проектуванню підводних апаратів приділено достатньо уваги, то до спуско-піднімальних пристроїв, як до допоміжного обладнання, неогрунтовано приділяють менше уваги [1,2]. Одночасно з цим, проблема виконання спуско-підйомних операцій підводних апаратів є особливо гострою, адже, зазначені операції є складними, дорогими і дуже відповідальними, а проблеми в процесі їх виконання можуть призвести як до втрати дорогого обладнання, так і до втрати життя людей.

Огляд конструктивних особливостей і умов експлуатації спуско-піднімальних пристроїв для підводних апаратів дає підставу вважати, що завдання створення ефективних спуско-піднімальних пристроїв для різного класу підводної техніки є досить актуальною [1].

Метою дослідження є виділення сучасних принципів побудови та конструкцій спуско-піднімальних пристроїв.

Об'єктом дослідження є умови експлуатації суден-носіїв підводних апаратів та конструктивні особливості їх спуско-піднімального обладнання.

Сьогодні відсутні систематичні розробки, присвячені формулюванню і вирішенню завдань визначення габаритів і маси спуско-підйомний пристроїв (СПП). Проведений аналіз СПП вітчизняних і закордонних конструкцій дозволяє визначити головні тенденції їх розвитку:

- збільшення вантажопідйомності СПП, його маси, вильоту за борт і над палубою судна-носія;
- розширення діапазону розміщення на палубі судна-носія;
- зниження відносної металоємності СПП за рахунок застосування раціональних схем розподілу сил в її несучій конструкції.

Аналіз конструкцій існуючих СПП показав, що традиційними є конструкції у вигляді морських кранів, П-рам або А-рам. В даних конструкціях троси, попущені через шків, розташовані на вершині рами, утримують об'єкт спуску-підйому. У таких конструкцій є істотний недолік – коливання об'єкту при його спуску на воду і піднятті на борт судна. Об'єкт, що вільно переміщується, є вельми небезпечним. Він створює небезпеку для життя асистентів, що працюють на палубі судна-носія, а також може пошкодити устаткування на палубі і саме судно.

Підсумовуючи приведене. Особливо значущими питаннями, вирішення яких дозволить створити більш ефективні СПП, є:

- автоматизація стикування / розстикування підводного апарата і СПП;
- удосконалення алгоритмів наведення підводного апарата до стикувального модуля;
- створення надійного розчіплювача підводного апарата;
- компенсація бортовий качки.

Список літератури:

1. Блинцов, В. С. Привязные подводные системы [Текст] / В. С. Блинцов. – К.: Наукова думка, 1998. – 142 с.
2. Пискунов А. М. Судовые автоматизированные электроприводы: в 2 т [Текст] / А. М. Пискунов. – 2 т, перераб. и доп. – Николаев : НУК, 2008. – 144 с.
3. Фрейдзон И. Г. Судовые электроприводы и системы [Текст] / И. Г. Фрейдзон. – Л.: 1988. – 472 с.

УДК 621.314.621

ЛАБОРАТОРНИЙ СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СУДНОВОЇ АВАРІЙНО-ПОПЕРЕДЖУВАЛЬНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ

Автори: Костенко Д.В., к.т.н., доцент; Овсянников В.М., к.т.н., доцент; Грудініна Г.С., Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Вступ. Лабораторний стенд призначений для дослідження та аналізу режимів роботи суднової аварійно-попереджувальної сигналізації, виконаний на елементній базі діючого зразка німецької компанії Böning Maritec, котра працює під іменем MARITEC-ENGINEERING GmbH як інжинірингова [1].

Стенд розташований в навчальній лабораторії №130 кафедри електричної інженерії суднових та роботизованих комплексів НН ІАЕ НУК, використовується в навчальному процесі та науковій роботі студентів.

Основна частина. Аварійно-попереджувальна сигналізація (АПС) призначена для контролю, моніторингу і керування станом технічних засобів судна. В основу роботи системи АПС покладена обробка сигналів контактних датчиків технологічного обладнання судна і формування спеціальних світлових та звукових сигналів. Система уявляє собою локальну мережу з CAN-інтерфейсом і програмованої конфігурації.

Студенти, проводячи на стенді експериментальні дослідження, здобувають глибокі навички обслуговування та експлуатації АПС.

До загальних досліджень і моніторингу параметрів АПС входять наступні складові: системи контролю і сигналізації стану насосів; системи налаштування параметрів керування насосами; системи контролю рівня рідини в суднових цистернах та температур в приміщеннях; системи налаштування меж спрацювання та часових затримок на включення/відключення елементів АПС. Визначними показниками налаштування розглянутої аварійно-попереджувальної системи є величини рівнів рідин в відповідних цистернах та температури в приміщеннях морського судна.

До складу системи АПС входять [2]:

– дисплей сигналізації та управління системи АПС типу AND 1215F, виконуючий функцію інтерфейсу та обробки до 15 вхідних ко-

тактичних датчиків (ВКД) з включенням-відключенням власної індикації в функції спрацьовування ВКД і формуванням керуючого сигналу на включення зовнішньої звукової сигналізації;

- 15-канальний блок вводу аналогових сигналів АНД SAS15;
- 15-канальний блок вводу дискретних сигналів АНД PS15;
- релейний модуль з 15 реле, керований по інтерфейсу АНД R101;
- блок живлення, котрий генерує з суднової напруги змінного струму 220 В, 50 Гц постійний струм напругою 24 В, або забезпечує подачу напруги 24 В від акумуляторних батарей до всіх складових частин АПС.

Система АПС забезпечує:

- обробку до 420 ВКД;
- світлову індикацію – до 960 світлових індикаторів, керованих в функції спрацьовування ВКД;
- формування до 4 узагальнених сигналів для кожної групи з 15 ВКД;
- включення-відключення зовнішньої звукової сигналізації при спрацьовуванні ВКД;
- індивідуальну настройку опцій для кожного ВКД (тип контакту – нормально-замкнутий або нормально-розімкнутий);
- затримку спрацьовування – 1с, 5с, 10с, 20с, 30с, 40с, 50с або 60с;
- передачу інформації по послідовному каналу (кручена пара проводів) від щитів сигналізації на щити-табло верхнього рівня;
- індивідуальну настройку кожного індикатора табло на будь-який ВКД;
- зберігання індивідуальних налаштувань в незалежній пам'яті.

По рішенню викладача та бажанню студента – дослідника можна обирати вид сигналізації: або аварійно-попереджувальну, або сигналізацію освідомлення. Крім того, можна змінювати колір включення світлового індикатора на червоний, жовтий або зелений.

Загальний вигляд дисплею сигналізації та управління системи АПС має вид (рис. 1).

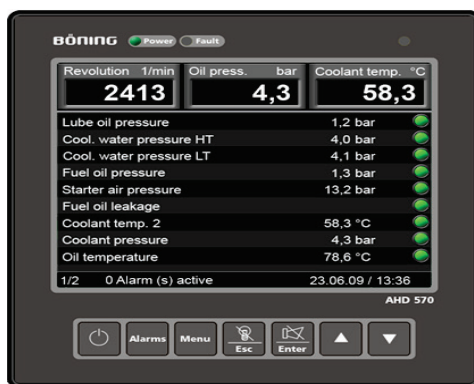


Рисунок 1 – Загальний вигляд дисплею сигналізації та управління АПС

Кольоровий ЖК-дисплей є компактним модулем для моніторингу та візуалізації даних системи АПС. Данні збираються відповідною системою та передаються по шині CAN. Повідомлення загальною чисельністю до 144 приймаються по двох послідовних інтерфейсах. Панель може формувати до десяти групових каналів, при чому, кожне повідомлення може знаходитися одночасно в двох групах. Також система дозволяє формувати до шістьох підгруп. Одна підгрупа може мати один релейний вихід. Одне повідомлення складається з 32 символів.

Враховуючи те, що для керування пристроями АПС використовують два послідовних інтерфейсу, система має значний запас міцності та довго тривалості. Тим самим підвищується ефективність прийняття рішень під час керування судновими системами і мінімізується ризик виникнення нештатних ситуацій.

Функції системи мають можливість виконувати автоматичний виклик механіка судна.

Візуалізація даних виконується на різних сторінках відображення з графічною обробкою у вигляді таблиць. Дисплей автоматично міняє яскравість за допомогою фотоелемента.

Управління дисплеєм дозволяє студенту-досліднику включати візуальне та звукове супроводження сигналу тривоги, змінювати сторінки меню, міняти конфігурації структур, виводити данні по обслуговуванню системи.

Структурна схема блоку вводу аналогових сигналів AHD SAS15 наведена на рис.2, а схема п'ятнадцяти каналного блоку вводу дискретних сигналів AHD PS15 – на рис.3.

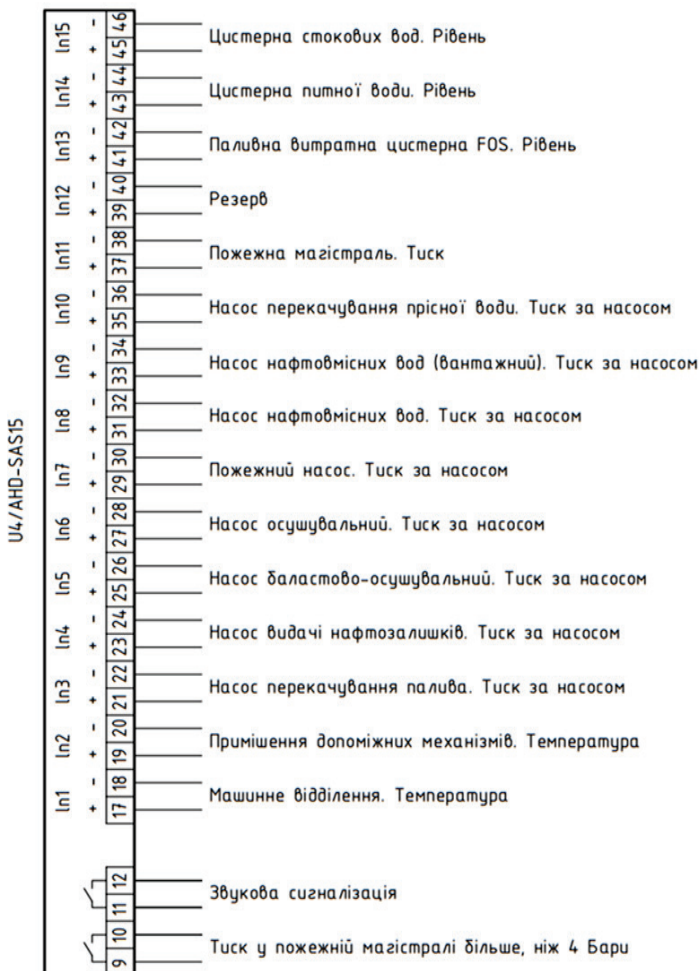


Рисунок 2 – Схема U4/AHD SAS15

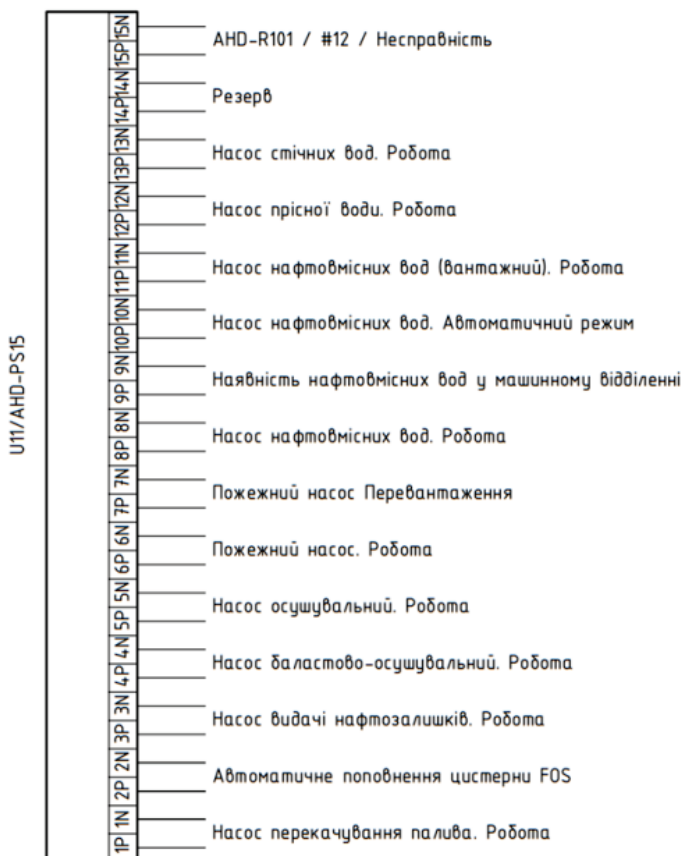


Рисунок 3 – Схема U11/AHD PS15

До основних функцій керування системи АПС відносяться: автоматичне/ручне включення електроприводів паливних насосів для поповнення витратних паливних цистерн й автоматична зупинка насосів при досягненні заданого тиску в паливної магістралі (зупинка по зриву тиску паливного насоса – коли тиск рідини на виході насосу менше 0,5 Бар).

На лабораторному стенді студенти можуть проводити дослідження режимів роботи електроприводів й систем керування та автоматики насосів по зриву тиску в наступних системах:

- нафтової (паливної);
- баластної;
- осушувальної;
- пожежного аварійного осушення в режимі сушіння;
- вод, змішаних з нафтою;
- стокових вод;
- прісної води.

В даному випадку обов'язково контролюються параметри тиску рідин у наступних точках: за паливним насосом; за насосом відбору залишків нафти; за баластовим насосом; за осушувальним насосом; за пожежним насосом аварійного осушення; за насосом вод змішаних з нафтою; за вантажним насосом; за насосом прісної води; в суднової пожежної магістралі.

Вимірювання рівнів рідин в цистернах виконується за допомогою датчиків (індикаторів) рівня типу AHD-SW. Схема електричних з'єднань датчиків, загальний вигляд датчика та його розміри наведені на рис. 4 і рис. 5 відповідно. Індикатор AHD-SW показує рівень рідини за допомогою світлодіодів. При наповненні цистерни до 95% від загального рівня, включається звукова сигналізація та починає мигати жовтий світлодіод. При 100% наповненні цистерни включається безперервний звуковий сигнал і починає мигати червоний світлодіод. Ці повідомлення передаються в суднову систему АПС і виводяться на екран кольорового дисплею AHD 1215F. При необхідності звукові повідомлення можна відключити за допомогою кнопки на індикаторі AHD-SW.

По технологічній необхідності на одну цистерну можна встановлювати два і більше індикаторів рівня рідини. Так, наприклад, поступають при контролі паливних цистерн. Як що забір палива береться з декількох місць, то подібні датчики необхідно встановлювати в кожному з них. Таки індикатори є дуже корисним доповненням системи АПС, їх використання знижує ризик розливу палива на судах тим самим виконуються дії по охороні навколишнього середовища.

В перелік обов'язкових параметрів контролю системи АПС входять також вимірювання температур в приміщеннях машинного відділення та приміщення допоміжних механізмів. Для цього в системі АПС використовуються пристрої на основі Module "NiCrNi" (модулі

термопар) з діапазоном граничних температур 0 – 950 градусів по Цельсію. Вихідний сигнал (параметр) з кожного модуля подається на відповідний пристрій з вказаним номером каналу та номеру клеми.

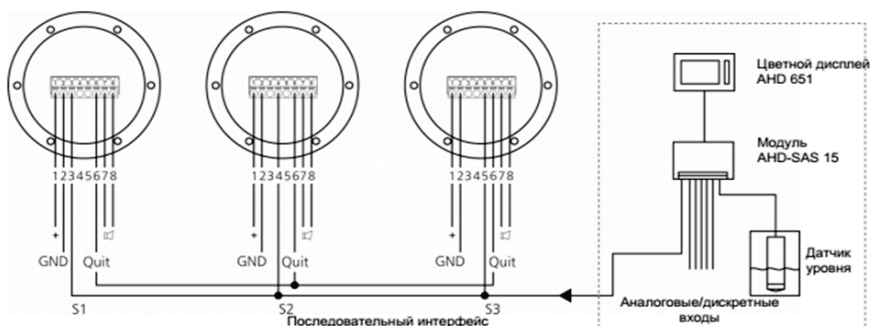
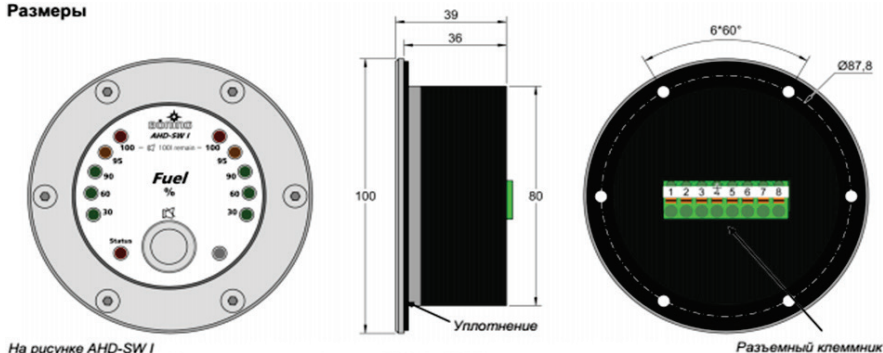


Рисунок 4 – Схема електричних з'єднань датчиків рівню рідини типу AHD-SW системи АПС

Размеры



На рисунке AHD-SW I
AHD-SW II отличается дополнительными надписями 'PORT' и 'STBD'

Рисунок 5 – Зовнішній вигляд датчика рівню рідини AHD-SW та його габаритні розміри.

Перелік контрольованих системою параметрів представлена у вигляді таблиці 1. В таблиці вказані приміщення та об'єкти контролю (робочі елементи) системи АПС.

Таблиця 1 – Таблиця параметрів контролю суднової системи АПС

№ каналу	Об'єкт контролю, параметр контролю	Тип входу, параметр	№ клеми	Діапазон виміру
Блоку вводу аналогових сигналів U4/AHD SAS15				
1	Машинне відділення, температура	I Module “NiCrNi”, (0...950°C)	17+/18-	0...100°C
2	Приміщення допоміжних механізмів, температура	I Module “NiCrNi”, (0...950°C)	19+/20-	0...100°C
3	Насос перекачування палива, тиск за насосом	J Module “0...5V”, (0...6V)	21+/22-	0...10Бар
4	Насос виділення нафтозалишків, тиск за насосом	J Module “0...5V”, (0...6V)	23+/24-	0...10Бар
5	Насос баластно-осушувальної системи, тиск за насосом	J Module “0...5V”, (0...6V)	25+/26-	0...10Бар
6	Насос осушувальний, тиск за насосом	J Module “0...5V”, (0...6V)	27+/28-	0...10Бар
7	Пожежний насос, тиск за насосом	J Module “0...5V”, (0...6V)	29+/30-	0...10Бар
8	Насос нафтовмістних вод, тиск за насосом	J Module “0...5V”, (0...6V)	31+/32-	0...10Бар
9	Насос нафтовмістних вод (вантажний), тиск за насосом	J Module “0...5V”, (0...6V)	33+/34-	0...10Бар
10	Насос перекачування прісної води, тиск за насосом	J Module “0...5V”, (0...6V)	35+/36-	0...10Бар

Секція 3. Носії та забезпечення підводно-технічних робіт

№ каналу	Об'єкт контролю, параметр контролю	Тип входу, параметр	№ клеми	Діапазон виміру
11	Пожежна магістраль, тиск	J Module “0...5V”, (0...6V)	37+/38-	0...10Бар
12	Резерв		39+/40-	
13	Паливна витратна систем FOS, рівень	B Module “4...20mA” (1...40mA 2 pol.)	41+/42-	0...1000л
14	Цистерна питної води, рівень	B Module “4...20mA” (1...40mA 2 pol.)	43+/44-	0...1000л
15	Цистерна стокових вод, рівень	B Module “4...20mA” (1...40mA 2 pol.)	45+/46-	0...1000л
16	Великий тиск у пожежній магістралі	Relay	09/10	--
17	Звукова сигналізація	Relay	11/12	--
Блоку вводу дискретних сигналів U11/ AHD PS15				
1	Насос перекачування палива, робота	NO	1N/1P	--
2	Автоматичне поповнення цистерни FOS	NO	2N/2P	--
3	Насос видачі нафтоза-лишків, робота	NO	3N/3P	--
4	Насос баластно-осушувальний, робота	NO	4N/4P	--
5	Насос осушувальний, робота	NO	5N/5P	--
6	Пожежний насос, робота по осушенню	NO	6N/6P	--

№ каналу	Об'єкт контролю, параметр контролю	Тип входу, параметр	№ клем	Діапазон виміру
7	Пожежний насос, робота по перевантаженню	NO	7N/7P	--
8	Насос нафтовісних вод, робота	NO	8N/8P	--
9	Насос вмісних вод в машинному відділенні, робота	NO	9N/9P	--
10	Насос нафтовмісних вод, автоматичних режим	NO	10N10/P	--
11	Насос нафтомісних вод (вантажний), робота	NO	11N11/P	--
12	Насос прісної води, робота	NO	12N12/P	--
13	Насос стокових вод, робота	NO	13N/13P	--
14	Вільна пара (не задіяна)	--	14N/14P	--
15	AHD R 101 / #12, несправність	NO	15N/15P	--

Загальний вигляд схеми з'єднань суднової системи АПС ілюструє рис. 6. До основних елементів системи відносяться блоки вводу аналогових сигналів AHD SAS15, блоки вводу дискретних сигналів AHD PS15, релейний модуль та керований по інтерфейсу AHD R101. Вказані елементи поєднані поміж собою спеціальним інтерфейсом.

Можна відмітити, що запропонований зразок можна використовувати не лише як стенд для дослідження АПС, а й всіх видів суднової сигналізації: авральної; пожежної; попереджувальної об'ємного пожежотушіння; сигналізації про появу води в льях та стічних колодязях трюмів; сигналізації закриття дверей проти проникнення води тощо.

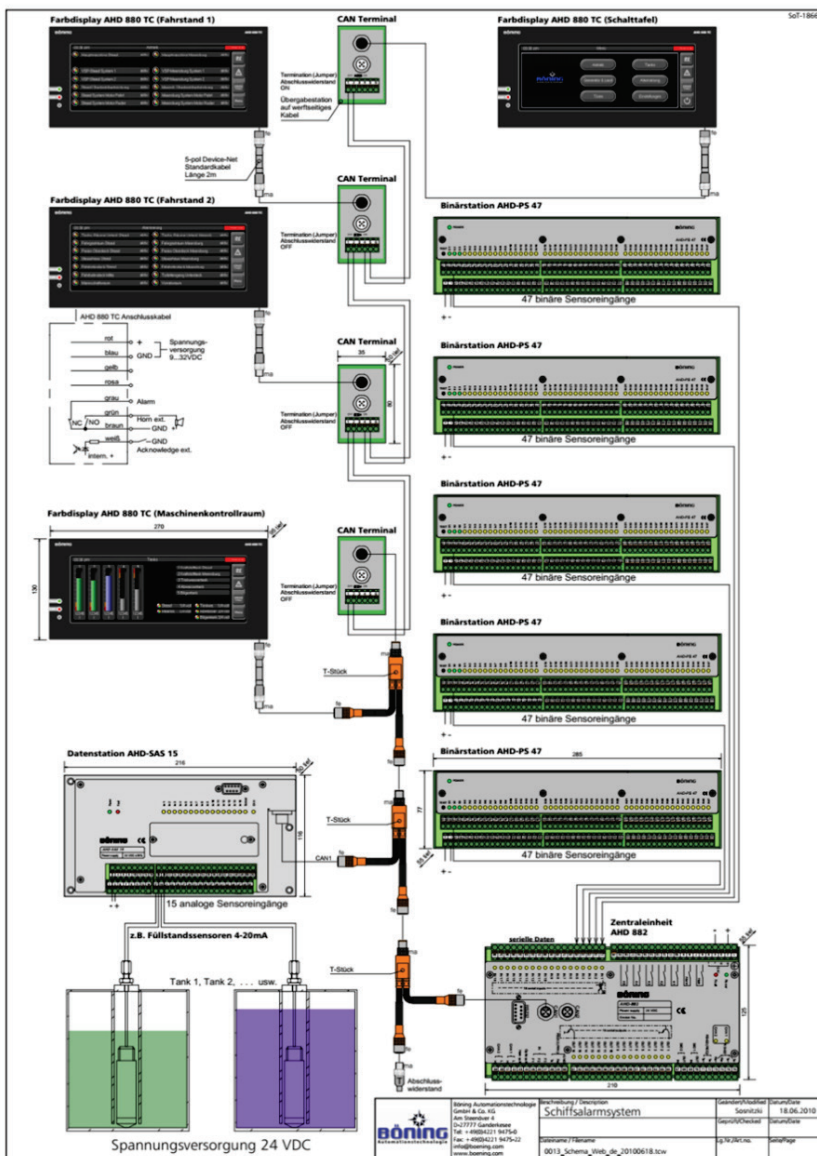


Рисунок 6 – Загальний вигляд схеми з'єднань суднової системи АПС

Інформація про роботу АПС відображається на дисплеї АНД 1215F. Відповідні інформаційні сторінки зображені на рис.7 – рис.13. Повний перелік контрольованих параметрів викладено в інструкції по експлуатації. При включенні дисплея на його екрані буде відображатися сторінка, яка була при останньому його виключенні.

Для зміни сторінок достатньо на моніторі в меню (рис.7) натиснути на відповідну інформацію. Наприклад, сторінка “Pumps” (“Насоси” – рис. 8) місті відомості про стан наступних насосів: паливного насоса; насоса видачі нафто залишків; баластового; осушувального; пожежного автоматичного осушування; нафтовмісних вод; вантажного нафтових вод; прісної води; стокових вод; насосу пожежної магістралі. При чому, в відповідному вікні для кожного з насосів вказуються параметри тиску рідини за насосами, стан кнопок керування, індикатори по зриву тиску, індикатори режиму роботи, рівень рідини в цистернах.

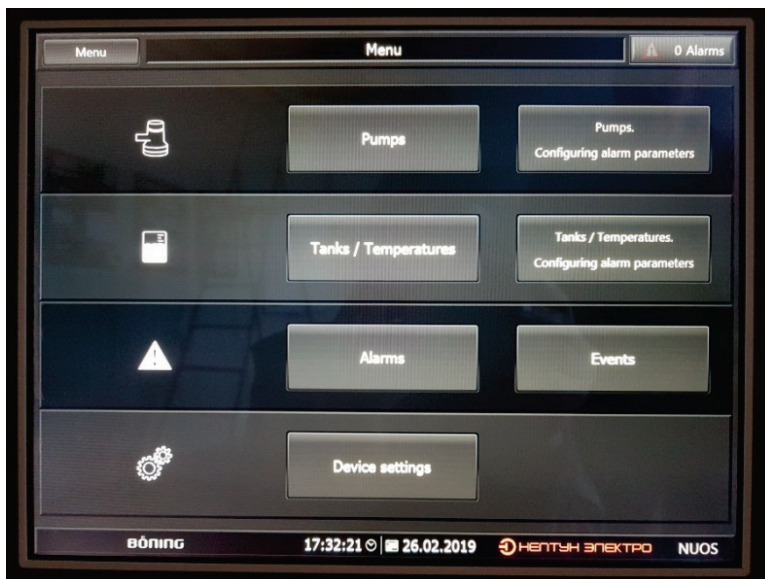


Рисунок 7 – інформаційна сторінка «Меню»



Рисунок 8 – Інформаційна сторінка «Насоси».

На сторінці “Pumps. Configuring alarm parameters” («Насоси. Налаштування параметрів АПС» – рис. 9) для кожного насосу студент встановлює величини затримки на зрив тиску, величини рівні рідин на пуск/зупинку, величини затримок на пуск в автоматичному режимі. Спостереження за інформацією можна доглядати на сторінці “Tanks/Temperatures” (Цистерни/Температури – рис. 10), де зображені гістограми паливної витратної цистерни, цистерні питної води та цистерни стокових вод. Тут також наведена інформація про температури в машинному відділенні та приміщенні допоміжних механізмів.

Параметри, при котрих буде спрацьовувати АПС, студент встановлює на сторінці (рис. 11) – “Tanks/Temperatures. Configuring alarm parameters” («Цистерни/Температури. Налаштування параметрів АПС»). Тут необхідно встановити рівні в цистернах, температури в приміщеннях, час затримки на спрацювання АПС. Рівні рідини указують в літрах, затримки на спрацювання – в секундах.

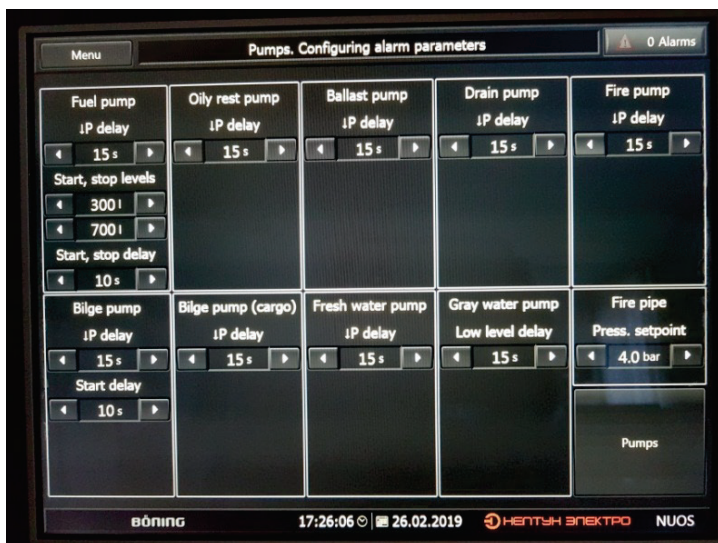


Рисунок 9 – Інформаційна сторінка «Насоси. Налаштування параметрів».

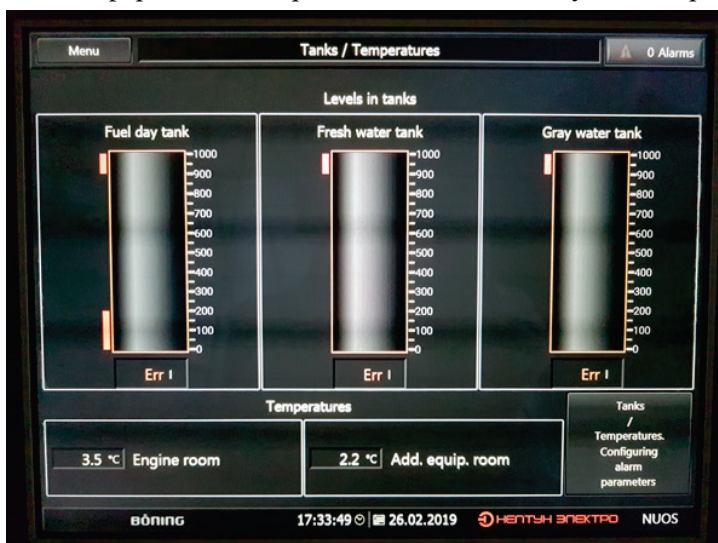


Рисунок 10 – Інформаційна сторінка «Цистерни / Температура».

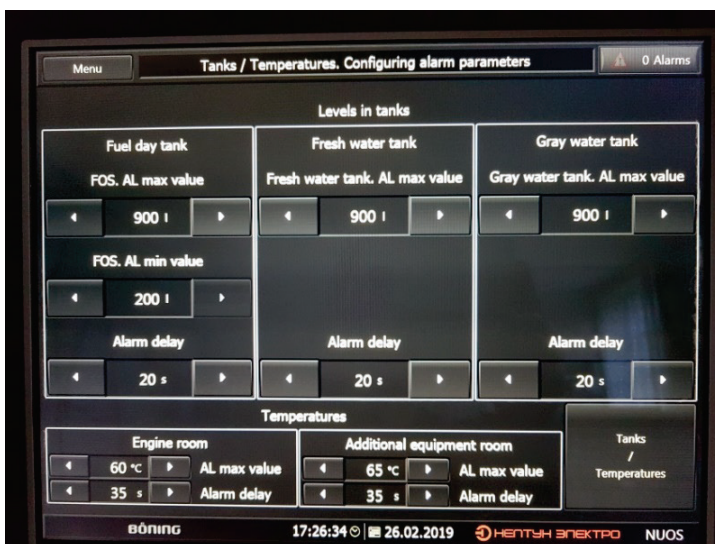


Рисунок 11 – Інформаційна сторінка «Цистерни/Температура. Налаштування параметрів АПС.

На сторінці “Events” («Події» – рис. 12) студент разом з викладачем може побачити історію подій, котрі виникали при дослідженні системи аварійно-попереджувальної сигналізації. Тут вказується точний час події, точки отримання інформації, підтвердження про появу сигналу АПС, вказуються значення сигналів спрацювання.

Сторінка “Device settings” («Налаштування приладу» – рис. 13) дає змогу студенту-досліднику виконувати налаштування дисплея АНД 1215F.

На завершення, всі пристрої системи АПС класифіковані практично всіма відомими брендами: ABS – Американське бюро судноплавства, США; BV – Бюро Веритас, Франція; DNV GL – Дет Норське Веритас /Германський Ллойд, Норвегія; LR – Регистр судноплавства Ллойда, Англія; РИНА (Registro Italiano Navale, Италия); РС – Морський Регістр Судноплавства, Росія/Україна.



Висновок: запропонований стенд дозволяє студентам вивчити всі види суднової сигналізації та отримати практичні навички при їх експлуатації.

Список літератури:

1. www.boeing.com
2. Технічний опис та керівництво по експлуатації системи АПС. /НУК.НЭ.362634.002РЭ.

УДК 621.314.621

АНАЛІЗ ДИНАМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ МОРСЬКОЇ ПЛАТФОРМИ

***Автор:** Кошара А.В., Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна*

***Науковий керівник:** Овсянников В.М., к.т.н., доцент Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна*

Вступ.

Морські платформи (МП) призначені для тривалої експлуатації в умовах відкритого моря і тому піддаються впливу екстремальних штормів і ураганів. Будучи міцно скріпленими з ґрунтом морського дна, вони не можуть зійти з точки робіт у море і сховатися навіть при наближенні найжорстокіших ураганів, оскільки це можуть зробити судна та інші плавзасоби. Їх єдина можливість " вижити " під час шторму полягає у наявності достатніх запасів міцності і стійкості, тому необхідність динамічних розрахунків, тобто. розрахунків, що враховують динамічний характер впливу хвилювання та вітру, для таких споруд особливо велика.

Основна частина.

Морська стаціонарна платформа (МСП) – унікальне гідротехнічна споруда, призначена для установки на ній бурового, нафтопромислового та допоміжного обладнання, що забезпечує буріння свердловин, видобуток нафти та газу, їх підготовку, а також обладнання та систем для виконання інших робіт, пов'язаних з розробкою морських нафтових та газових родовищ (обладнання для закачування води в пласт, капітального ремонту свердловин, засоби автоматизації морського

промислу, обладнання та засоби автоматизації з транспорту нафти, засоби зв'язку з береговими об'єктами тощо) (рис 1.)



Рисунок 1 – Основні типи морських стаціонарних платформ

Морські установки [1] прийнято класифікувати за двома ознаками:

- за принциповою конструктивною схемою та становищем у робочому стані споруди (кошти), що служить основою (монтажною базою) бурового обладнання;
- за умовною граничною глибиною буріння, тобто. за ознакою, яка є основою для суходутних бурових установок.

За першою ознакою, тобто. за особливостями основи (монтажної бази), усі бурові установки прийнято класифікувати наступним чином: стаціонарні – пальові, опорно-пальові, опорні; пересувні опорні – самопідйомні, із занурювальним корпусом; безопорні – напівзанурювальні, бурові судна.

Конструкція стаціонарної платформи визначається, по-перше, умовами довкілля, а по-друге, прийнятою схемою розробки.

До умов навколишнього середовища відносяться: глибина моря, хвильові, вітрові, сейсмічні та льодові навантаження, течії, фізико-механічні

властивості ґрунтів, що складають дно у місці встановлення платформи. Проекти розробки та оснащення морських нафтогазових родовищ передбачають визначення кількості похило спрямованих свердловин, що розташовуються на одній платформі (10 – 30 і більше залежно від геологічних умов родовища), та всього комплексу обладнання для підготовки, транспортування та зберігання нафти. Поєднання всіх перерахованих факторів визначає навантаження на споруду, а звідси та її конструктивне рішення. Стаціонарна основа пов'язана з морським дном і передає на нього вагу бурового обладнання та всі навантаження, що виникають у період будівництва свердловини. Конструкція стаціонарної основи залежить від умов, для яких вона призначена, і насамперед від глибини моря. Найбільш простим видом стаціонарної основи є пальове.

Палеві основи використовують при порівняно невеликих глибинах моря – близько 15-26 м і рідше до 40 м. Для їх створення в морське дно забивають палі, на них зварюють конструкцію платформи, роблять настил та монтують основне та допоміжне бурове обладнання. При глибині моря до 15-20 м для сполучення з буровими, підвезення обладнання, інструменту та матеріалів на палях можна прокладати естакади. Якщо глибина моря перевищує 20 м, то будівництво естакад стає економічно нераціональним. Основна перевага пальових основ – їх низька вартість у порівнянні з іншими видами основ, недолік – в обмеженні сфери застосування малими глибинами моря (25 – 40 м) і неможливість багаторазового використання.

Стаціонарні опорно-пальові та опорні основи дозволяють проводити бурові роботи до глибин моря близько 150 м. Стаціонарна бурова платформа складається з двох частин: підводної та надводної. Підводна частина містить один або кілька опорних блоків. Найбільш широко застосовують опорні блоки пірамідальної форми. Надводна частина має одну або кілька секцій і є просторовим каркасом. Все обладнання може бути розміщене на одному рівні (палубі) або на двох. Двоярусне розміщення дозволяє скоротити розміри майданчика. В цьому випадку на нижній палубі встановлюють розчинний вузол, насоси бурові, блок очищення бурового розчину, гирлове обладнання. Решту бурове обладнання виносять на верхню палубу. Тут же мають житлові приміщення і вертолiтний майданчик. У стаціонарних платформ опорно-пального типу після установки в заданому пункті забивають палі всередині опорних колон і цементують їх. [2]

При проектуванні різноманітних плавучих морських споруд, що використовуються при освоєнні родовищ вуглеводнів на континентальному шельфі, доводиться вирішувати широке коло статичних та динамічних завдань, вивчаючи переміщення цих споруд під впливом хвилювання, вітру, течії та льоду. Окремі складові зазначених впливів можуть вважатися постійними у часі, деякі складові змінні у часі та мають регулярний чи нерегулярний характер. У випадку, навантаження залежить від початкового становища споруди і змінюються в міру його усунення.

Переміщення плавучих споруд можливі, як правило, у всіх шести ступенях свободи і складним чином пов'язані, з самими навантаженнями, що викликають ці переміщення, з реакцією систем утримання, з гідродинамічним впливом інших плавучих або стаціонарних об'єктів, що знаходяться поблизу.

Як правило, переміщення плавучих об'єктів обмежуються силами, створюваними якірною системою утримання, різними швартовними зв'язками, що з'єднують їх з іншими об'єктами, відбійними пристроями, що зменшують сили контактної взаємодії корпусів плавучих об'єктів. Розрахунок цих зв'язків і пристроїв вимагає вивчення динаміки плавучої споруди або групи взаємопов'язаних об'єктів.

Зазвичай, при проектуванні плавучих споруд, при обґрунтуванні тих чи інших морських операцій з їх участю, необхідно вивчити статику та динаміку різних конструктивних варіантів споруд, перевірити ті чи інші інженерні рішення, та домогтися виконання обмежень, що визначають умови безпечної експлуатації об'єктів. При цьому, орієнтуючись на тривалість експлуатації споруд, необхідно вивчити поведінку споруд під впливом різних поєднань зовнішніх впливів.

Таким чином, для обґрунтування проектів плавучих споруд необхідно вирішувати широке коло питань, спрямованих на дослідження статичної та динамічної поведінки даного класу споруд. Найбільш універсальним та відносно дешевим способом.

Вирішення зазначеного комплексу питань, є створення потужного проблемно-орієнтованого програмного комплексу, що дозволяє в короткий термін виконати математичне моделювання всіх необхідних режимів функціонування найрізноманітніших конструктивних варіантів споруд, що створюються.

Серед численних динамічних завдань розв'язуваних у процесі проектування споруд слід відзначити різні постановки задачі, використані авторами. Це :

- завдання динаміки споруди при малих її коливаннях;
- завдання нелінійної динаміки при кінцевих коливаннях споруди та постійних гідродинамічних характеристиках;
- задача нелінійної динаміки при кінцевих коливаннях споруди зі змінними гідродинамічними характеристиками;
- завдання динаміки споруди з урахуванням динаміки зв'язків.

Всі ці постановки призводять до систем нелінійних диференціальних рівнянь і вирішуються у часовій області.

Перша з перерахованих динамічних завдань виходить із припущення, що рух споруди під дією зовнішніх сил обмежений настільки, що не впливає на величину цих сил. У цьому випадку розрахунок навантажень від вітру, течії та хвилювання ведеться на умовно нерухому споруду. Переміщення споруди, її швидкості та прискорення, статичні та гідродинамічні реакції рідини, реакції якірної системи, швартовних та відбійних пристроїв описуються в нерухомій системі координат, початок якої збігається з центром ваги споруди у вихідному положенні. При цьому слід зазначити, що реакції якірної системи та швартовних пристроїв розглядаються в даному завданні в квазістатичній постановці в силу їх жорстких характеристик (тобто без урахування динамічних ефектів у зв'язках). Така постановка призводить до необхідності розв'язання системи шести нелінійних диференціальних рівнянь для кожної споруди, що повністю описують їхню поведінку під дією зовнішніх навантажень та зусиль у зв'язках.

Друга постановка допускає значні коливання споруди, за яких суттєво змінюються значення діючих на спорудження зовнішніх сил. У цьому випадку постановка задачі використовує принцип суперпозиції, в рамках якого гідродинамічні сили та моменти реакції рідини на рух споруди розраховуються так, ніби вона рухається на спокійній воді; обурювальні гідродинамічні сили та моменти, що діють на спорудження, внаслідок хвилювання розраховуються з урахуванням його поточного осадку; сили течії (і його швидкості) розраховуються незалежно від сил хвилювання (і швидкостей частинок рідини у хвилі) з урахуванням поточного осадку та кута нишпорення, при цьому швидкість течії розраховується щодо рухомого корпусу судна [2]. Вітрові навантаження також враховують поточне становище

плавучого об'єкта. Подібна постановка задачі наводить доцільність опису поведінки споруди в рухомій системі координат, пов'язаної з корпусом споруди. Завдання зводиться до системи шести нелінійних диференціальних рівнянь, які необхідно чисельно інтегрувати. Так само як і в попередньому випадку реакції зв'язків системи утримання описуються у квазістатичній постановці. Ця постановка порівняно з попередньою є більш трудомісткою, оскільки більшість сил, що діють на спорудження, стають нелінійними і на кожному кроці інтегрування необхідно виконувати значний обсяг обчислювальної роботи.

У третій постановці враховується змінність гідродинамічних показників залежно від частоти коливань. У цьому випадку частотно-залежні коефіцієнти приєднаних мас та гідродинамічного опору подаються у вигляді ретардаційних характеристик, а рівняння руху плавучого об'єкта – у вигляді інтегро-диференціальних нелінійних рівнянь. Чисельне вирішення таких рівнянь дозволяє точніше описати рух об'єкта з урахуванням зміни його гідродинамічних характеристик.

Четверта постановка задачі динаміки відрізняється врахуванням спільної динаміки споруди, якірних зв'язків та райзерів. У цій постановці зв'язку розглядаються як пружні, важкі, гнучкі нитки, вага яких концентрується у вузлових точках. Таким чином, кожен зв'язок описується, як гірлянда елементарних мас, сполучених між собою пружними невагомими нитками. Райзери представляються у вигляді гірлянди мас з'єднаних двосторонніми пружинами, що моделюють пружне подовження райзера. У кожен вузол моделі райзера додається моментна пружина, що моделює його згинальну жорсткість.

Загальна система нелінійних диференціальних рівнянь описують поведінку споруди, включає шість нелінійних диференціальних рівнянь динаміки самої споруди і $3NR$ рівнянь руху вузлових точок кожного зв'язку або райзера (де N – загальна кількість зв'язків/райзерів, а R – число елементарних мас в райзера). Подібне завдання є ще більш трудомістким для реалізації. Приватним випадком останньої динамічної задачі є завдання динаміки окремого зв'язку/райзера, яка вирішується в пакеті програм при заданому довільному русі клюзової точки в трьох ступенях свободи (рисунок 2).

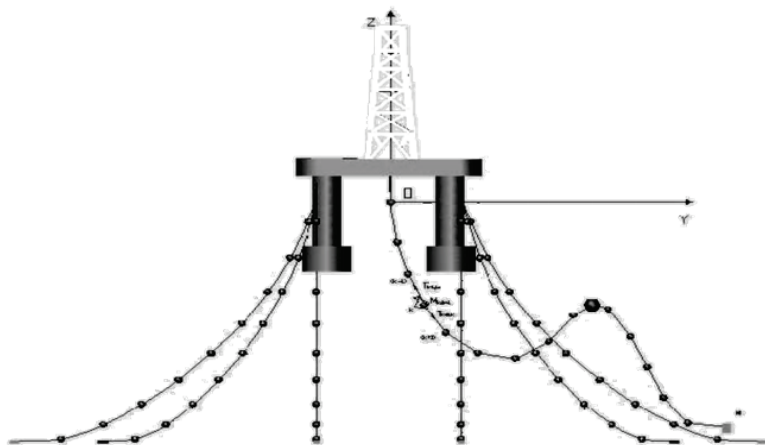


Рисунок 2 – Моделювання динаміки платформи спільно з динамікою зв'язків та райзерів.

Висновки:

1. Використання різних постановок динаміки дозволяє проектувальнику найбільш гнучко здійснювати удосконалення конструкції споруди.
2. При використанні найбільш трудомістких варіантів розрахунку динаміки споруди обчислювальні ресурси комп'ютерів нерідко обмежують можливості пошуку найкращих конструктивних параметрів.
3. Для початкової оптимізації конструкції найбільш доцільно використовувати простіші та швидші методи обчислень.
4. На завершальній стадії – при значно меншому числі варіантів – можна з успіхом застосовувати більш трудомісткі і достовірні методи моделювання поведінки споруди під дією динамічних навантажень.

Список літератури:

1. [Електроний ресурс]. Режим доступу: <https://www.referat.club/geology/morskie-stacionarnyeplatformy-34071.html/> (дата звернення: 18.11.2021)
2. [Електроний ресурс]. Режим доступу : <https://neftegaz.ru/analysis/offshoredrilling/329266-morskie-burovye-osnovaniya-i-ustanovki/> (дата звернення: 18.11.2021)

УДК 621.314.621

АНАЛІЗ УНІФІКОВАНИХ ВИРОБІВ УПРАВЛІННЯ АВТОНОМНИМИ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯМИ

***Автор:** Логвінов В.О., Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна*

***Науковий керівник:** Овсянников В.М., к.т.н., доцент Національний
університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв,
Україна*

Вступ. Вчені і практики з різних країн висловлюють заклопотаність тим, що більше 70% аварій відбувається з вини людини [1]. Справа в тому, що події в житті людей, як і в експлуатації технічних засобів можна розділити на дві безлічі. Часто повторювані, повсякденні і рідкісні події. Кожне з рідкісних подій має малу, а часом навіть дуже малу, ймовірність. Однак, їх так багато і вони такі різноманітні, що зустрітися з будь-яким з них цілком ймовірно. Справа в тому, що сума досить малих ймовірностей при їх великій кількості стає значущою величиною. Вони як раз і складають ті події, які являються несподіваними для людини. У ситуаціях таких подій людина губиться або робить фатальні помилки, що тягнуть за собою виникнення аварії.

У більшості випадків сучасні автоматизовані системи діють без людини в тих ситуаціях, які заздалегідь продумані проектантом. Вони якраз і складають безліч частих, повсякденних подій. Всі рідкісні події перерахувати і продумати практично неможливо. Значить, рідкісні події залишаються на відкуп людині-оператору, який, як правило, не готовий до швидкого аналізу та дії в критичної обстановці. Звідси виникають помилки, котрі приводять до аварії. Здавалося б, безвихідь. Але це не так. Вихід з нього складається в управлінні на основі єдиної стратегії, придатної, як в повсякденної, так і в будь-який інший ситуації. Тоді автомат, що діє за єдиним у всіх ситуаціях правилом, прийме правильне рішення. Таке управління називається інтелектуальним керуванням.

Основана частина. Метою статті є аналіз комплексних заходів по підготовці магістрів та підвищенню рівня кваліфікації плавскладу різних морських структур. В даному випадку всім викладачам необ-

хідно взяти курс на розробку і впровадження таких інтелектуальних автоматів і систем, котрі дозволять удосконалити теоретичну підготовку і забезпечити тренажерні тренування на спеціалізованих стендах або симуляторах. І саме для цього необхідно використовувати симулятори (якщо вони є), а також і розробляти стенди для навчання студентів в усіх сферах автоматизації судновими технічними системами.

На основі відомих принципів автоматизації різних типів суден їх електростанцій, їх головних енергетичних установок пропонується проектувати та виготовлювати типові уніфіковані вироби на базі електрообладнання і контролерів відомих фірм. Наприклад, вироби Schneider Electric приваблюють високою багато функціональністю та надійністю. Крім того, вони містять вичерпну інформацію з будь-яких питань практичного застосування [1].

На сьогодні всі німецькі судновласники замовляють судна з автоматизованими електростанціями, в яких головний розподільчий щит має систему автоматичного управління з чисельними розподільними пристроями на елементній базі Schneider Electric. Всупереч побоюванням численних опонентів з питань електромагнітної сумісності, контролери, вбудовані в секції ГРЩ, працюють виключно надійно при будь-яких комутаціях в електроенергетичній системі судна.

Гнучкість математичного забезпечення контролерів дозволяє створювати своєрідний алгоритм управління генераторами судна в поєднанні з використанням потужних підрулюючих пристроїв. Алгоритм роботи електростанції є таким, що немає ситуації, з якої контролер не налаштував би електроенергетичну систему оптимально в будь-яких повсякденних і аварійних ситуаціях [2].

Крім розподільних пристроїв і ГРЩ виготовляються і встановлюються системи всього комплексу управління суднами: обладнання містка, включаючи телеграфи; дистанційне автоматизоване управління головними двигунами; управління електростанцією і ін.

Наприклад, особливістю розробок сучасних суднових телеграфів є застосуванням крокових двигунів. Вони встановлюються замість шумливих сельсинів. Безшумність телеграфу створює комфортні умови в рульовій рубці. Принцип дії телеграфу в даному випадку має наступну послідовність. Напруга неузгодженості між новим і колишнім становищем ручки телеграфу, що знімається з особливо точного поте-

нціометра, подається на аналоговий вхід контролера TSX37. У контролері (крім програм численних допоміжних функцій) закладена програма подачі керуючих імпульсів на кроковий двигун, який відпрацьовує таким чином, щоб сигнал на аналоговий вхід контролера був би рівний нулю. Одночасно і синхронно з центральним телеграфом імпульси подаються на телеграф крил містка, а також на виконавчу частину телеграфу в машинному відділенні. Створюється своєрідний електричний вал, що з'єднує всі термінали машинного телеграфу. За вибором капітана забезпечується управління, як з центрального телеграфу, так і з крил містка.

Прикладом удосконалення засобів автоматизації суднових технічних комплексів можна назвати сучасну систему управління суднової електростанції танкера типу «Капітан Бармин» [3]. До складу електростанції входять три головних дизель-генератора і один аварійний дизель-генератор. Для управління електростанцією обраний контролер TSX372101. У програмі цього контролера реалізовані процеси автоматичної синхронізації генераторів, розподілу навантаження, управління складом генераторів при збільшенні навантаження працюючих генераторів понад встановлену межу, або зниження її нижче заданої межі і у всіх аварійних режимах.

Система працює наступним чином. При появі сигналу про несправність дається затримка на спрацьовування запуску резерва 5 хвилин. Потім контролер автоматично запускає резервний дизель-генератор.

Після синхронізації і включення резервного генератора в паралельну роботу несправний генератор зупиняється. Новим в способі управління є і те, що завдяки прийнятій єдиної стратегії автоматизації призначення резервного генератора (перший запущений генератор оголошується головним, а наступний за ним по номеру резервним; рахунок номерів ведеться по кільцю 1, 2, 3, 1, 2, 3 і т.д.) стало можливим відмовитися від ключів вибору черговості пуску дизель-генераторів.

Зазначеною стратегією автоматично призначається резервний генератор, а також той генератор з числа працюючих паралельно генераторів, який підлягає зупинці в разі зниження навантаження нижче заданого рівня [2]. Ситуацію характеризує рис. 1.

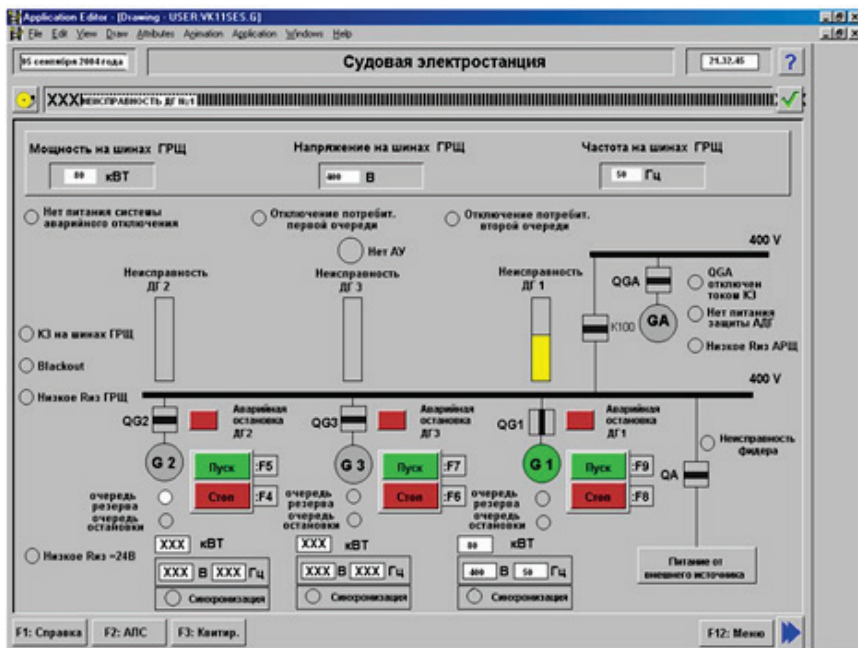


Рисунок 1 – Робота суднової електростанції при виході з ладу одного дизель-генератора.

На рис. 1 можна бачити, що 5 вересня 2014 року в 21 годині 32 хвилини і 45 секунд сталася несправність ДГ № 1, який був включений і працював з навантаженням 80 кВт, при напрузі 400 В і частоті 50 Гц. З моменту появи несправності пройшло близько 2,5 хвилин (про що «говорить» жовтий стовпчик над генератором), і через 2,5 хвилини, коли весь стовпчик заповниться жовтою фарбою, запуститься наступний по черзі генератор № 2 (про що «говорить» білий гурток під ДГ № 2 з написом «чергу резерву»). Після запуску і включення в паралельну роботу ДГ № 2, зупиниться ДГ № 1.

Алгоритм управління електростанцією передбачає і багато інших зручні для обслуговуючого персоналу режими управління. Застосування єдиної стратегії вибору резерву і зупинки генераторів дозволило приділити значну увагу і час програмування Цих не хитрих, але численних операцій, які полегшують і роблять безпечним управління електростанцією.

Наступним великим кроком вперед в справі розвитку автоматичного керування електростанціями можна назвати створення автоматизованого управління дванадцятьма контейнерними дизель-генераторними агрегатами електростанції в селищі Приміське не далеко від міста Корсаков Південно-Сахалінської області [2]. Кожен дизель-генераторний агрегат має потужність 1600 кВт, напруга 6,2 кВ. Ця електростанція має на меті забезпечити електроенергією селище будівельників великого нафто- і газопереробного заводу. Контейнерні електростанції управляються з приміщення закритого розподільного щита (РЩ). Закритий РЩ уявляє собою набір високовольтних осередків. У цьому ж приміщенні знаходиться і центральний пост управління, який складається з пульта дистанційного керування (ПДУ), праворуч, і автоматизованого робочого місця (АРМ) оператора. ПДУ і АРМ разом з його математичним забезпеченням створений на базі елементів, контролера і математичного забезпечення Schneider Electric.

Тут стратегія управління, яка була описана вище, виявилася не придатною. Число генераторів значно зросло і кожен з них може знаходитися в будь-якому стані (в роботі, справний, в ремонті і т.д.). Проблему склало наступне. Як повідомити контролеру про всі можливі перестановки, адже їх для 12 генераторів більше декількох десятків мільйонів. Тому була прийнята інша стратегія. На відеокадрі (рис. 2) АРМ оператором призначаються пріоритети запуску генераторів. Крім того, відзначаються ті агрегати, які знаходяться в ремонті, вказуються несправні і аварійні агрегати [2].

При необхідності запуску чергового генератора, програма вибирає найбільш пріоритетний з числа справних і не працюючих генераторних агрегатів. Після такого вибору проводиться його автоматичний запуск за встановленою інструкції. У разі зупинки одного з паралельно працюючих генераторів, вибирається той агрегат, який має найменший пріоритет. Таким чином, вибір пріоритетів здійснюється оператором, що робить все управління в цілому відкритим і несуперечливим. Відомо, що суперечать одна одній системи тільки ті, які відкриті. Тобто, деякі основні незаперечні приймаються як істинні. Такі положення привносяться вищою по ієрархічній структурі системою.

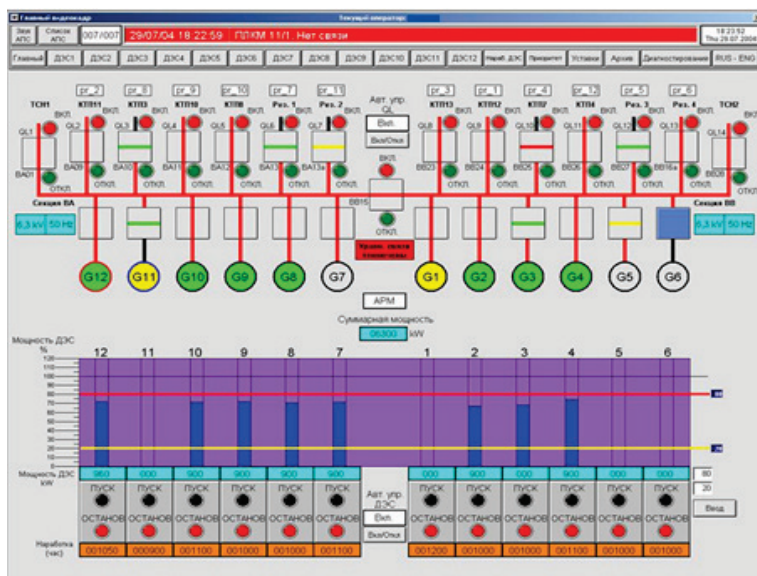


Рисунок 2 – Пріоритети запуску генераторів

Також за встановленими пріоритетами здійснюється автоматичне відключення фідерів. Фідери відходять від закритих РЩ до споживачів електроенергії. Їх зміна обумовлена перевантаженням генераторних агрегатів електростанції.

З огляду на те, що сучасні контролери типу TSX фірми Telemecanique, входить в об'єднання Schneider Electric, вони мають практично такі ж обчислювальні можливості, що і контролери, алгоритми котрих описані вище. І після невеликого доопрацювання їх можна рекомендувати, як типові для використанні в управлінні багатоагрегатними електростанціями.

Система діагностики контролера АРМ і його зв'язків з периферією наведена на рис. 3. Діагностика виконана з особливою ретельністю. Для наочності прикладу, штучно роз'єднано зв'язок двох блоків, які горять червоним кольором. Це свідчить про те, що має місце несправності системи зв'язку з цими блоками. Практика впровадження таких систем в енергетичну систему з 12 дизель-генераторних агрегатів показала, що навіть при налагодженні всієї системи в цілому (при

якій, як відомо, може статися все, що завгодно) канали зв'язку центрального процесора з периферією ні разу не дали збоїв.

На рис.3 показано всеконтролерне забезпечення АРМ, яке (крім монітора і процесора ПЕОМ) являє собою блоки збору інформації типу «Momentum» і центральний контролер TSX фірми Telemecanique. У кожному контейнері (окремо для кожного дизель-генератора) розташовані по три блока збору інформації. Два з цих блоків призначені для збору дискретної інформації, один з них – для збору аналогових сигналів. По каналах послідовного зв'язку FIPiO інформація надходить в центральний контролер, який обмінюється інформацією з персональним комп'ютером також по каналу послідовного зв'язку. Така структура побудови систем автоматизованого управління стала типовою в інформаційних і керуючих системах практично всіх енергетичних установок [3].

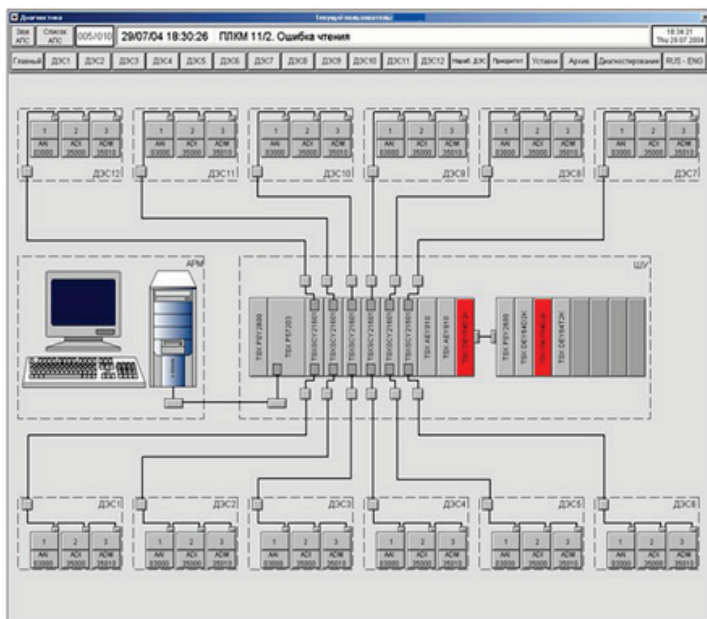


Рисунок 3 – Система діагностики контролера АРМ і його зв'язку з периферією.

Висновки

1. Підхід до створення програм керування, який реалізує єдину стратегію управління в будь-яких повсякденних і аварійних ситуаціях, дає позитивні результати в практиці управління багато агрегатними електростанціями.

2. Орієнтування на апаратуру Schneider Electric передбачає створення все більш інтелектуальних системи управління багато агрегатними електростанціями.

3. Таки системи необхідно використовувати як в навчальному процесі так й в науково-дослідних роботах.

Список літератури:

1. www.designers.schneider-electric.ru
2. www.amtnpo.ru
3. НПО «АМТ»: Системы управления и электрооборудования для судостроения, энергетики и нефтегазового комплекса. СПб, 2014.

УДК 681.5

СУЧАСНІ НАУКОВІ ЗАВДАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ МАЛОРОЗМІРНИХ БЕЗЕКІПАЖНИХ СУДЕН

***Автор:** Надточий В.А., к.т.н, доцент, Херсонська філія Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна*

Вступ.

Безекіпажні надводні судна (БНС, в англомовній літературі – Unmanned Surface Vehicles – USVs, або Maritime Autonomous Surface Ships – MASS) знаходять все більше застосування при виконанні цивільних та оборонних завдань у провідних морських країнах світу [1]. Їх створення і впровадження у морську практику оцінюється як магістральний напрямок розвитку водного транспорту [2].

Для багатьох застосувань, у тому числі і для вітчизняних організацій, важливу роль у морських транспортних та наукових робіт будуть відігравати малорозмірні безекіпажні надводні судна (МБНС), оскільки більша частина таких робіт виконується на мілководних морських акваторіях та внутрішніх водних шляхах.

З позицій проектування МБНС являють собою об'єкти морської робототехніки, створені на основі електромеханічних систем, які ав-

томатично керуються відповідними системами автоматичного керування різного рівня складності.

Тому формулювання наукових завдань щодо теоретичного обґрунтування процесів створення МБНС та оцінки можливостей їх побудови й ефективної експлуатації для конкретних завдань морської галузі є актуальною.

Метою роботи є огляд науково-технічних публікацій щодо створення БНС взагалі та, зокрема, МБНС як об'єктів морської робототехніки, а також визначення напрямків подальшого розвитку їх електромеханічних систем та автоматики.

Викладення основного матеріалу.

Наукові розробки та результати дослідної експлуатації БНС різного призначення на сьогодні досить широко висвітлені у науковій літературі [3-7]. Їх аналіз свідчить, що на цей час активно розробляються питання застосування БНС у цивільних та воєнних цілях.

Розглянемо результати вказаних досліджень більш детально.

Однією з найбільш повних за оглядом та аналізом БНС робіт є публікація [3]. Автори роботи наводять основні області застосування таких засобів морської робототехніки (ЗМР) та їх переваги й недоліки у порівнянні з іншими пілотованими або безпілотними системами. У роботі також проводиться комплексна оцінка методів навігації та контролю БНС, представлено огляд систем координації групового керування БНС та надано інформацію про напрямки подальших досліджень. Однак аналіз БНС як електромеханічних систем, особливості їх побудови та завдання керування такими системами у роботі не розглянуто.

Робота [4] присвячена всебічному і глибокому огляду досліджень, що доповідались на науково-технічній конференції «Autonomous Ship Technology-2021». Зазначено, що сьогодні до найбільш актуальних напрямків досліджень відносяться питання безпечної експлуатації БНС та їх інформаційної безпеки, а також питання взаємодії БНС з навколишнім середовищем. Досить повно розглянуті також результати практичного застосування БНС, які виконують транспортні перевезення на морі та у внутрішніх водах європейських держав. Проте завдання розробки узагальненої системи класифікації БНС як об'єктів морської робототехніки, що проектується, у роботі не розглядаються.

У публікації [5] надано інформацію від британської компанії Rolls-Royce про початок розробки вантажних БНС з дистанційним керуванням. Безекіпажні контейнеровози та суховантажні судна мають забезпечити економію витрат на утримання екіпажів і паливних витрат, зроблять морські вантажоперевезення більш екологічними та безпечними. Також розглядаються питання зміни морського законодавства, яке сьогодні не регулює юридичні аспекти використання БНС. Однак у вказаній публікації не аналізуються вимоги до електрообладнання таких суден з позицій його автоматичного керування та не ставляться питання класифікації такого обладнання як теоретичної основи його створення.

У роботі [6] наведено огляд розвитку БНС від провідних морських країн світу, а також сформульовані загальні технічні проблеми, пов'язані зі створенням і застосуванням БНС. Вказано на основні технічні проблеми розробки БНС, пов'язані з застосуванням штучного інтелекту, забезпеченням керованості та зниженням витрат на розробку. Автори вважають, що завдяки спільним зусиллям дослідників із усього світу в найближчому майбутньому розробка БНС вступить у нову фазу, оскільки вони незабаром можуть знайти широке застосування як на військовій, так і на цивільній службі.

У публікації [7] оголошено про старт першого дослідного плавання БНС «Mayflower». Метою плавання через Атлантичний океан є перевірка навігаційної системи «AI Captain» [8] на базі штучного інтелекту фірми IBM при роботі у реальних "сценаріях" морської експлуатації.

Наведені у публікаціях [6-8] нові прикладні наукові результати стосуються загальних питань створення й застосування БНС, однак інформація про теоретичні основи їх проектування в них відсутня.

Значну кількість наукових публікацій присвячено перспективам застосування БНС для реалізації завдань військово-морських флотів провідних морських держав світу.

Так, у роботі [9] виконано аналіз можливостей використання БНС в інтересах ВМС США, виділено питання експлуатації, які варто враховувати для забезпечення ефективної інтеграції БНС у військово-морські операції. Робота носить оглядовий характер і питання електрообладнання суден та його автоматизація не розглядаються.

Метою статті [10] є аналіз умов, необхідних для створення й застосування БНС в інтересах ВМС США. Автор докладно висвітлює

можливі підходи до проблеми автоматизації БНС, включаючи автоматичне застосування зброї, та формулює проблеми, які необхідно здолати для успішного застосування БНС у майбутньому. Однак, інформація про вимоги до електромеханічного обладнання БНС та про особливості керування ним як основним типом бортового обладнання у публікації відсутні.

Таким чином, сучасні наукові публікації щодо БНС здебільшого присвячені аналізу практичного досвіду та перспективам застосування БНС різного призначення. Одночасно констатуємо малу кількість публікацій щодо теорії проектування БНС у цілому та, зокрема, МБНС як програмно керованих складних об'єктів електромеханіки.

Аналіз науково-технічної літератури свідчить, що на цей час до найбільш актуальних і, водночас, найбільш складних прикладних наукових завдань створення та експлуатації МБНС можна віднести наступні завдання:

- створення електро- та гідравлічних механізмів і систем МБНС, які мають працювати у режимі повної автоматизації;
- розробка систем автоматичного контролю за функціонуванням МБНС;
- розробка систем безпечної навігації МБНС;
- розробка систем комп'ютерної безпеки МБНС;
- взаємодія з іншими МБНС у реальному часі;
- дослідження юридичних аспектів використання МБНС;
- соціологічні дослідження щодо майбутнього професії моряка.

Оскільки два перших завдання напряму стосуються електромеханіки, розглянемо їх більш детально.

Розв'язок першого наукового завдання передбачає удосконалення теоретичних основ створення електромеханічних пристроїв (ЕМП) і електромеханічних систем (ЕМС) у цілому, які б були спроможні функціонувати у режимах безлюдної експлуатації. Концептуально це означає, що стоїть завдання розробки повністю електричних бортових механізмів і систем, які були б побудовані на єдиному енергетичному, інформаційному та конструктивному базисі та давали б змогу створювати електромеханічні системи, які не обслуговуються.

Розв'язок другого наукового завдання передбачає удосконалення теоретичних основ побудови та розвиток методів синтезу систем керування, які б автоматично виявляли відмови в електромеханічних системах МБНС та самостійно їх усували. Такі системи можуть бути побудовані на основі застосування структурного, алгоритмічного та системного підходів [11].

Структурний підхід можна зрівняти з пасивним підходом до відмовостійкості, в основі якого лежить використання принципу структурної надмірності. Найбільше широко відомим способом введення структурної надмірності є мажоритарне резервування, що забезпечує ефективну стійкість до раптових відмов.

Алгоритмічний підхід ґрунтується на розробці надлишкових алгоритмів, що використовують для досягнення заданої мети функціонування різні керуючі впливи й керовані змінні створюваної системи.

У свою чергу, формування алгоритмів відмово стійкого керування вимагає рішення цілого комплексу завдань, пов'язаних з необхідністю обліку різноманітних видів відмов в умовах високого ступеня невизначеності умов функціонування й характеристик надійності.

Системний підхід, відповідно використовує системну самоорганізацію й комплексне застосування широкого спектру різних засобів для збереження працездатності системи при відмовах функціональних елементів. Відмінність системного підходу полягає в тому, що для рішення проблеми відмовостійкості застосовують основні принципи й результати сучасної теорії автоматичного керування до побудови адаптивних систем, що самоорганізуються, а також методи діагностування систем на основі модельно орієнтованих методів.

Висновки.

1. Виконано огляд та аналіз науково-технічних публікацій, який показав, що питання теорії проектування МБНС як програмно керованих складних об'єктів електромеханіки висвітлені недостатньо.

2. Сформульовано напрямки подальшого розвитку електромеханічних систем та автоматики малорозмірних безекіпажних надводних суден, які полягають в необхідності вдосконаленні теоретичних основ створення електромеханічних пристроїв і систем, що не обслуговуються, та в удосконаленні теоретичних основ побудови та розвитку методів синтезу систем керування, які б автоматично виявляли та усували відмови в електромеханічних системах МБНС.

Список літератури:

1. Joel Coito. Maritime Autonomous Surface Ships: New Possibilities—and Challenges—in Ocean Law and Policy. Published by the Stockton Center for International Law. Volume 97, 2021. 49 Pages. <https://digital-commons.usnwc.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2955&context=ils>
2. The Future is Now: Unmanned and Autonomous Surface Vessels and Their Impact on the Maritime Industry. Benedict's Maritime Bulletin December 2017. <https://www.blankrome.com/publications/future-now-unmanned-and-autonomous-surface-vessels-and-their-impact-maritime-0>
3. Zhixiang Liu, Youmin Zhang, Xiang Yu, Chi Yuan. Unmanned surface vehicles: An overview of developments and challenges. Annual Reviews in Control. Volume 41, 2016, Pages 71-93. <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2016.04.018>
4. Autonomous Vessels are Becoming a Commercial Reality. <https://www.maritime-executive.com/editorials/autonomous-vessels-are-becoming-a-commercial-reality>
5. Британцы начали разработку безэкипажных грузовых судов. <https://neuronus.com/stat/101-britantsy-nachali-razrabotku-bezekipazhnykh-gruzovykh-sudov.html>
6. Ru-jian Yan, Shuo Pang, Han-bing Sun & Yong-jie Pang. Development and missions of unmanned surface vehicle. Journal of Marine Science and Application volume 9, pages 451–457 (2010). <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11804-010-1033-2>
7. Первое автономное судно Mayflower с искусственным интеллектом IBM готовится пересечь Атлантику. <https://infocity.az/2020/03/pervoe-avtonomnoe-sudno-mayflower-gotovitsja-peresech-atlantiku/>
8. A.I., Captain: The Robotic Navy Ship of the Future. <https://fortune.com/longform/leidos-sea-hunter-ai-navy-ship/>
9. Scott Savitz, Irv. Blickstein, Peter Buryk and other (2013). U.S. Navy Employment Options for Unmanned Surface Vehicles (USVs). RAND Corporation. 160 Pages. <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA588081.pdf>
10. The Future for Unmanned Surface Vessels in the US Navy. By Brian Dunn. October 28, 2020. <https://georgetownsecuritystudiesreview.org/2020/10/28/the-future-for-unmanned-surface-vessels-in-the-us-navy/>

11. Копылов С.А., Федоренко Р.В., Гуренко М, Береснев М.А. / Программный комплекс для обнаружения и диагностики аппаратных отказов в роботизированных морских подвижных объектах. – Инженерный вестник Дона, 2004. – №3. – 11 с.

УДК 621.314.621

ЕЛЕКТРИЧНІ СИСТЕМИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ДЛЯ ПАСАЖИРСЬКИХ МОРСЬКИХ СУДЕН

***Автор:** Рубан Б.Г., Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна*

***Науковий керівник:** Овсянников В.М., к.т.н., доцент Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна*

Вступ.

Комерційна електрифікація морських суден розпочалася у 1880-х роках за допомогою системи постійного струму на борту SS Columbia. Однак популярність системи електричного розподілу змінного струму призвела до переходу на дану систему на практично всіх сучасних судах. Нині більшість судів працюють з урахуванням дизель-електричної системи. При цьому бортові дизель-генераторні агрегати генерують енергію змінного струму загальної шини змінного струму ГРЩ. І всі суднові електроприводи живляться від цих шин.

Однак останнім часом знову відновився інтерес до переходу на дизель-електричні системи постійного струму. І викликано це тією обставиною, що морські судна значно покращують електричні характеристики та забезпечують економію палива [3 – 12] .

У цій роботі наведено оцінки поліпшення, отримані під час переходу морських суден на систему постійного, з погляду електричних та експлуатаційних характеристик роботи генератора. Наведено огляд типової електричної системи змінного струму, що використовується в даний час. Подано модифікацію системи на основі постійного струму. Також обговорюється проблема синхронізації кількох генераторів та усунення шкідливих гармонік. Дається обговорення характерних переваг переходу на систему постійного струму, а також потенційних проблем, що при цьому виникають. Розглядаються як симетричне, і

асиметричне використання генератора. І розраховується потенційна економія палива для судна.

Основна частина.

Використання повністю електричних чи гібридних дизель-електричних систем на борту морських суден у цей час є звичайним явищем. Більшість круїзних лайнерів є повністю електричними, що означає, що вони використовують лише електричні силові приводи без механічного зв'язку між бортовими генераторами та силовими приводами [4]. Деякі морські судна, наприклад, судна забезпечення платформ, судна для дайвінгу та контейнеровози використовують дизель-електричні силові установки. Ці судна мають механічні силові приводи, що використовуються під час операцій на великій дальності, з постійною швидкістю, так і електричні силові приводи, які використовуються для операцій маневрування на низьких швидкостях. Переваги електричних приводів численні. До них відносяться [5]:

- Поліпшена ефективність генераторів.
- Підвищена ефективність силових приводів при низькому навантаженні та низькій швидкості.
- Швидший динамічний відгук.
- Зменшена вага та об'єм електрообладнання.
- Гнучкість розміщення обладнання.

Нині морські судна переважно працюють у системі розподілу змінного струму. Проте зростає інтерес до переходу на систему розподілу постійного струму.

У цій статті розглядається модифікація системи розподілу змінного струму, яка нині застосовується на морських судах, в систему розподілу постійного струму, необхідні зміни обладнання, поліпшення електричних характеристик та потенційна економія палива в кількох режимах роботи.

У найпростішому випадку для пасажирського судна [10] електрична система змінного струму (LVAC) може бути представлена в такому вигляді (рис. 1).

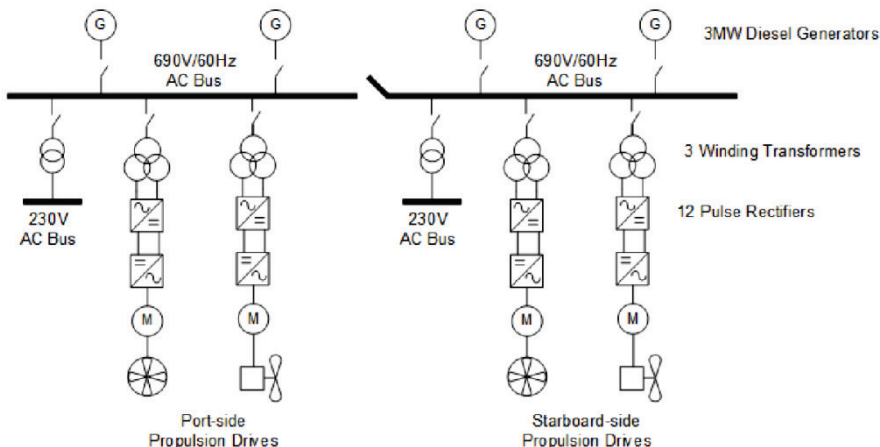


Рисунок 1 – Низьковольтна електрична система змінного струму (LVAC).

Загальна потужність генерації для цього судна становить 12 МВт, що забезпечує чотири електроприводи, а також зберігання, обслуговування вантажів на борту судна. Існують дві шини змінного струму з напругою 690, які можна підключити, закривши шинну стяжку між двома шинами. Це дозволяє передавати потужність між левобортним та правобортним генератором на електроприводи та обслуговувати навантаження з будь-якої сторони судна. Електроприводи одержують живлення від шини змінного струму (690В). Потім живлення трифазного змінного струму подається через триобмотувальний трансформатор з конфігурацією зірка-зірка-трикутник, за яким слідує 12-імпульсний діодний мостовий випрямляч. Потім електродвигун приводиться в рух за допомогою приводу з регульованою швидкістю, який забезпечує роботу зі змінною швидкістю і змінним моментом, що крутить. Робочі навантаження також живляться від шини змінного струму (690 В), яка являє собою понижувальний трансформатор, що знижує змінну напругу з 690 В до більш зручного однофазного джерела живлення 230 В або трифазної напруги 440 В. Ці навантаження включають освітлення, навігаційні механізми та охолоджуючі насоси.

На рис. 2 наведено низьковольтна електрична система постійного струму (LVDC), яка може замінити існуючу систему LVAC. Основна

відмінність між системами LVDC і LVAC – це перехід від шини змінного струму 690 до шини постійного струму 1 кВ. Оскільки генератори залишаються незмінними, залишаються й активними вхідні (AFE) перетворювачі, які виконують функції перетворення вироблених напруг змінного струму в постійний. Оскільки напруга на шині тепер постійна, для живлення електроприводів більше відпадає необхідність використання трьох обмоткових трансформаторів та 12-імпульсного випрямляча. Електропривод з регульованою швидкістю тепер вживає енергію безпосередньо від шини постійного струму 1 кВ. Однак зараз для робочих навантажень потрібні інвертори. Вони безпосередньо замінюють понижуючі трансформатори, що були у системі LVAC. Однофазні та/або трифазні навантаження можуть забезпечувати живлення від шини постійного струму. Завдяки шині постійного струму підключення елементів накопичення енергії, таких як батареї, тепер є життєздатним.

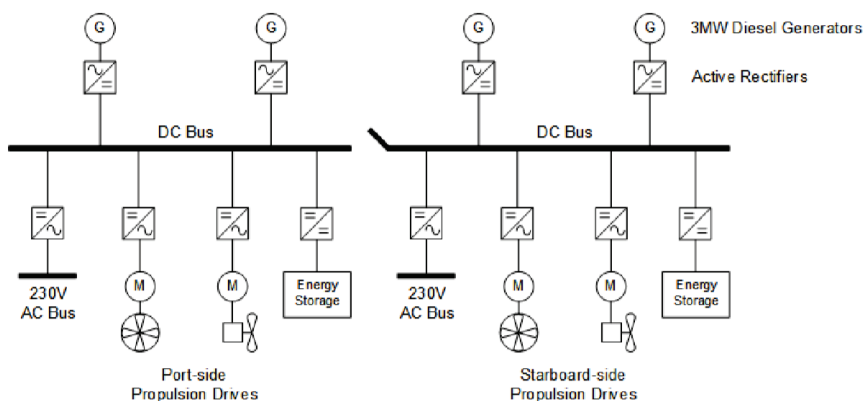


Рисунок 2 – Низьковольтна електрична система постійного струму (LVDC).

Система 12-імпульсного перетворення дозволяє зменшити 5-у та 7-у гармоніки, які зазвичай виникають при використанні пасивних випрямлячів. Це зменшення є обов'язковим для відповідності морським стандартам загального гармонійного спотворення (THD) на шині змін-

ного струму. Однак навіть із зменшенням гармонік за допомогою трьох обмотувального трансформатора та 12-імпульсного випрямляча струм THD залишається високим, особливо при низьких навантаженнях.

Як бачимо на рис. 3, джерело струму I_s , спотворений гармоніками. Ідеальна форма хвилі для I_s зазвичай синусоїдальна, тобто така сама форма хвилі, що і для напруги джерела V_s , щоб мінімізувати вироблення реактивної потужності. Виробництво реактивної потужності співвідноситься з втратами енергії, які знижують ефективність палива морського судна.

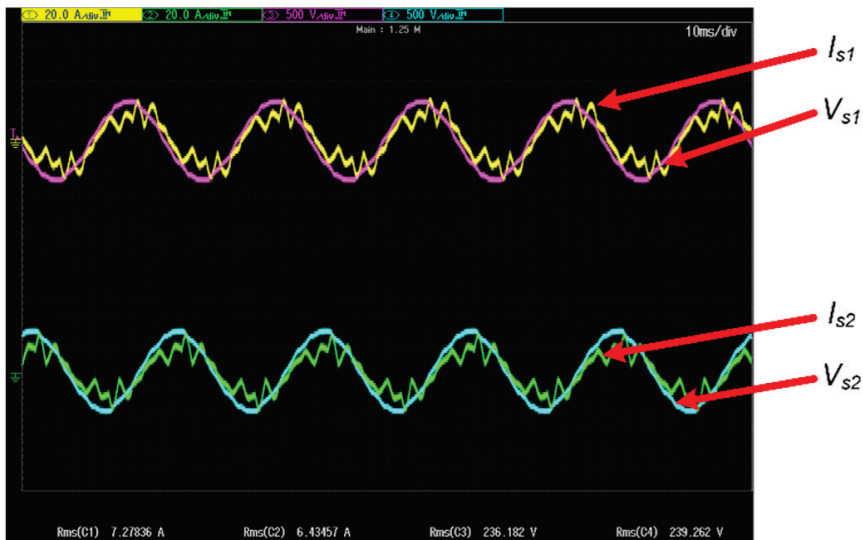


Рисунок 3 – Звичайні форми сигналів, котрі мають місто в 12- імпульсної системи випрямлення: вихідна напруга V_{dc} , струм навантаження I_s та напруга джерела V_s .

Для системи LVDC використання перетворювачів AFE вигідно, оскільки є активними перетворювачами, які можуть керувати потоком активної і реактивної потужності. Існують і добре зарекомендували себе дослідження для їх методів управління [8, 9], які можуть мінімізувати поточну гармоніку та покращити THD.

На рис. 4 показані вхідні напруги та струми для перетворювача AFE з тим самим профілем навантаження, що і у випадку на рис. 3.

Вхідні струми демонструють менше спотворення порівняно з випадком на рис. 3. Хоча є високочастотні гармоніки, які легко фільтруються з використанням низькочастотних L- або LCL-фільтрів [10].

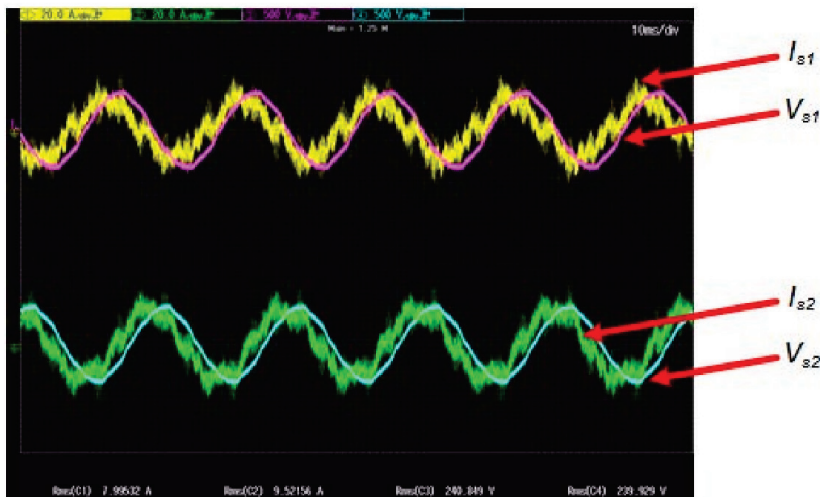


Рисунок 4 – Напруги та струми для перетворювача AFE: наведено осцилограми для двох фаз в трехфазной системі живлення.

Порівнюючи осцилограми, показані на рис. 4, можна зробити висновок, що система на основі AFE демонструє кращу якість електроенергії. Перехід від системи LVAC до системи LVDC призводить до зниження THD, що зменшує втрати електричної системи, тим самим покращуючи паливну ефективність всієї системи.

Переваги використання перетворювачів AFE в системах LVDC A4. При використанні перетворювачів AFE в системах LVDC генератори більше не повинні обертатися з певною швидкістю для синхронізації із загальною шиною постійного струму, на відміну від систем LVAC, які мають фіксовані частоти шини змінного струму, які зазвичай становлять 50 Гц або 60 Гц. Завдяки цьому додатковому ступеню свободи генератори можуть працювати в більш ефективних режимах, що підвищує економіку палива судна.

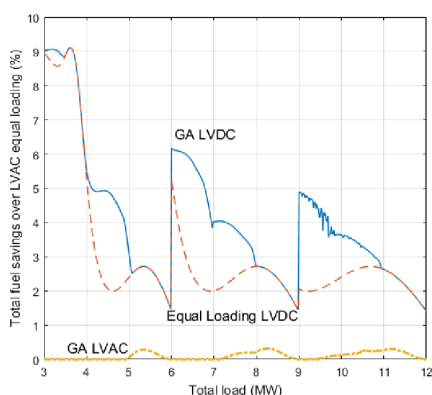
Крім того, поточний розподіл вироблення електроенергії між генераторами виконується на основі рівного навантаження, тобто загальна потреба в навантаженні ділиться на загальну кількість генераторів, що підключені до мережі. Тим не менш, було виявлено, що це не ефективний метод витрачання палива, і в даний час ведуться дослідження щодо оптимізації планування роботи генератора для підвищення ефективності використання палива [11].

Економія палива, отримана за рахунок переходу від системи LVAC до однієї системи LVDC, є істотною. Це без використання методів для оптимізації планування генератора і метод рівного завантаження, який використовується в даний час, зберігається. Як показано на рис. 5(а), економія палива становить від 1,5% до 9% порівняно з застосовуваною в даний час системою LVAC при нормальній роботі.

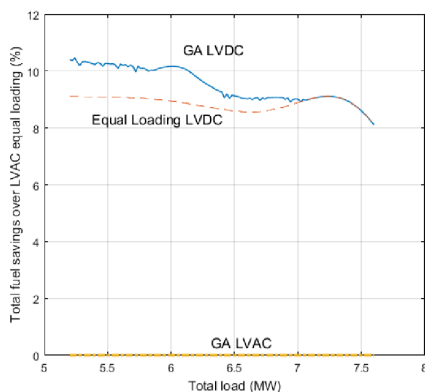
Використання генетичного алгоритму (GA) було запропоновано оптимізації планування генератора [12]. Стосовно систем LVAC і LVDC можна помітити, що економія палива значно вища для системи LVDC, як показано на рис. 5. З системою LVAC економія палива значною мірою незначна, у своїй лише конкретні навантаження генератора досягають 0,4%. економія пального. При використанні системи LVDC, оптимізованої для GA, середня економія палива по всьому діапазону навантаження покращується порівняно із системою LVDC з рівним розподілом.

У режимі динамічного позиціонування економія палива, що виникає в результаті переходу на систему LVDC, також є значною, в діапазоні від 8 до 9% при нормальній роботі, як показано на рис. 5 (b). Коли використовується оптимізація GA, економія палива зростає ще більше – до 8-10,5%. Це особливо важливо при низьких навантаженнях, коли оптимізація за допомогою GA може правильніше розподілити навантаження на всі робочі генератори для досягнення загальної більш високої ефективності використання палива.

Тому очевидно, що перехід на систему LVDC призводить до економії палива завдяки можливості роботи генератора зі змінною швидкістю. Це незалежно від того, чи використовується метод розподілу з однаковим навантаженням або методика планування генератора, оптимізована для GA, для кількох генераторів.



(a)



(б)

Рисунок 5 – Економічні показники по паливу для систем LVAC и LVDC для нормальної (а) і аварійної (б) роботи енергетичної системи при динамічному позиціонуванні судна [12]

Загальні висновки

1. Нині зростає інтерес до переходу електроенергетичних систем на основу постійного струму через потенційні переваги в електричних характеристиках та ефективність використання палива. Було продемонстровано, що струм, що споживається від шини змінного струму, містить гармоніки низького порядку для типових 12 імпульсних систем змінного струму.

2. У системах постійного струму використання випрямлячів AFE усуває ці гармоніки низького порядку і натомість створює гармоніки високого порядку, які можна легко відфільтрувати за допомогою пасивних фільтрів нижніх частот. Тому якість струму генератора найкраще для системи постійного струму. Завдяки загальній шині постійного струму генератори тепер можуть працювати зі змінною швидкістю, що підвищує економію палива.

3. Це ще більш важливо, коли застосовуються асиметричні методи планування генератора, такі як GA для мінімізації споживання палива генераторами.

4.3 точки зору якості електроенергії та ефективності використання палива морські судна майбутнього можуть бути економічно ефективними з покращеними електричними характеристиками завдяки використанню систем на основі постійного струму.

Список літератури:

1. J. P. Barrett, *Electricity at the Columbian Exposition*. R. R. Donnelley & Sons Company, 1894.
2. M. Guarnieri, "The Beginning of Electric Energy Transmission: Part One [Historical]," *IEEE Industrial Electronics Magazine*, vol. 7, no. 1, pp. 50-52, 2013.
3. E. Skjong, R. Volden, E. Rodskar, M. Molinas, T. Johansen, and J. Cunningham, "Past, Present and Future Challenges of the Marine Vessel's Electrical Power System," *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, vol. PP, no. 99, pp. 1-1, 2016.
4. M. R. Patel, *Shipboard Electrical Power Systems*. CRC Press, 2012.
5. S. J. Dale, R. E. Hebner, and G. Sulligoi, "Electric Ship Technologies," *Proceedings of the IEEE*, vol. 103, no. 12, pp. 2225-2228, 2015.
6. F. D. Kanellos, G. J. Tsekouras, and J. Prousalidis, "Onboard DC grid employing smart grid technology: challenges, state of the art and future prospects," *IET Electrical Systems in Transportation*, vol. 5, no. 1, pp. 1-11, 2015.
7. Z. Jin, G. Sulligoi, R. Cuzner, L. Meng, J. C. Vasquez, and J. M. Guerrero, "Next-Generation Shipboard DC Power System: Introduction Smart Grid and dc Microgrid Technologies into Maritime Electrical Networks," *IEEE Electrification Magazine*, vol. 4, no. 2, pp. 45-57, 2016.
8. J. R. Rodriguez, J. W. Dixon, J. R. Espinoza, J. Pontt, and P. Lezana, "PWM regenerative rectifiers: state of the art," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 52, no. 1, pp. 5-22, 2005.
9. T. Noguchi, H. Tomiki, S. Kondo, and I. Takahashi, "Direct power control of PWM converter without power-source voltage sensors," *Industry Applications, IEEE Transactions on*, vol. 34, no. 3, pp. 473-479, 1998.
10. M. Liserre, F. Blaabjerg, and S. Hansen, "Design and control of an LCL-filter-based three-phase active rectifier," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 41, no. 5, pp. 1281-1291, 2005.
11. M. Chai, B. D. Reddy, L. Sobrayen, S. K. Panda, D. Wu, and X. Chen, "Improvement in efficiency and reliability for diesel- electric propulsion based marine vessels using genetic algorithm," in *2016 IEEE Trans-*

portation Electrification Conference and Expo, Asia-Pacific (ITEC AsiaPacific), 2016, pp. 180-184.

12. M. Chai et al., "Fuel-efficient low-voltage DC architecture for diesel-electric diving support vessels," in IECON 2016 – 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2016, pp. 4413-4418.

УДК 681.5

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ МАЛОРОЗМІРНИМ БЕЗЕКІПАЖНИМ СУДНОМ В УМОВАХ ДІЇ ЗОВНІШНІХ ЗБУРЕНЬ

Автор: Сабуцький І.П., аспірант, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Вступ. Малорозмірні безекіпажні надводні судна (МБНС) відносяться до найбільш застосовуваних на цей час безекіпажних надводних суден, оскільки в усіх морських країнах наразі існують велика потреба у суднах каботажного (внутрішнього) плавання [1].

З позицій проектування МБНС являють собою об'єкти морської робототехніки, які функціонують під керуванням систем автоматичного керування (САК) різного призначення та рівня складності [2].

Автоматичне керування МБНС являє собою складну прикладну наукову задачу, до основних складових якої можна віднести:

- суттєву нелінійність МБНС як об'єкту керування, обумовлену нелінійним характером його виконавчих механізмів та нелінійним характером обтікання корпусу судна як твердого тіла, яке рухається у воді;

- невизначеністю зовнішніх збурень, які діють на корпус МБНС (вітро-хвильових збурень та збурень, породжуваних течіями).

Наукові розробки, пов'язані з розробкою і дослідженням систем автоматичного керування БНС наразі проводяться у більшості провідних морських країн світу, оскільки безекіпажні надводні судна утворюють серйозну альтернативу традиційному водному транспорту, у тому числі й на внутрішніх водних шляхах.

Оскільки Україна має досить розвинену систему внутрішніх водних шляхів, вказана тематика є актуальною також для вітчизняної прикладної науки. Це обумовлює актуальність даного дослідження.

Викладення основного матеріалу.

Функціонування МБНС передбачає наступні режими автоматичного керування:

- автоматичне діагностування R_{D1} механізмів, вузлів і систем МБНС перед початком виконання місії;
- автоматичний вихід R_{B1} з бази до початкової точки маршруту заданої місії;
- автоматичний рух МБНС по заданій траєкторії R_{T1} під час переходу у робочу зону акваторії;
- автоматичне маневрування R_M у робочій зоні акваторії та/чи автоматична стабілізація R_S у заданій точці заданої акваторії;
- автоматичний рух МБНС R_{T2} по траєкторії повернення у кінцеву точку маршруту місії;
- автоматичне повернення R_{B2} до бази;
- автоматичне діагностування R_{D2} механізмів, вузлів і систем МБНС після завершення місії.

Таким чином, множина $R_{МБНС}$ основних режимів функціонування МБНС містить наступні елементи:

$$R_{МБНС} = \{R_{D1}; R_{B1}; R_{T1}; R_M; R_S; R_{T2}; R_{B2}; R_{D2}\}. \quad (1)$$

Очевидно, що для всіх основних режимів роботи МБНС, крім режимів R_{D1} та R_{D2} , характерним є наявність дії зовнішніх збурень $\vec{F}_{FP}$ у вигляді векторів сил вітру $\vec{F}_{Wn}$, хвиль $\vec{F}_{Wv}$ та течії $\vec{F}_V$.

До головних задач САК МБНС слід віднести наступні задачі:

- задача безпечної навігації МБНС у режимах руху $\{R_{B1}; R_{T1}; R_M; R_S; R_{T2}; R_{B2}\}$; тут має передбачатись, крім дії зовнішніх збурень $\vec{F}_{FP}$, наявність навігаційних перешкод у вигляді інших плавзасобів;
- задача автоматичного керування головною силовою установкою (ГСУ) МБНС (дизелем чи іншим джерелом механічної чи електричної енергії МБНС);
- задача автоматичного керування рушійно-стерновим комплексом (РСК) МБНС;

- задача автоматичного керування допоміжними судновими машинами і механізмами (ДСММ) МБНС;
- задача автоматичного керування корисним вантажем (КВ) МБНС;
- задача автоматичної діагностики (контролю працездатності) обладнання (ДО) МБНС (режими R_{D1} та R_{D2}).

Очевидно, що такий складний перелік вимог, що висуваються до САК МБНС, можливо задовольнити лише шляхом застосування сучасних принципів і технологій побудови систем керування.

Більшістю дослідників визнають необхідність використання багаторівневої (ієрархічної) структури побудови інтелектуальних систем керування рухомими об'єктами [2-4]. Успішне рішення завдань керування такими об'єктами можливо при побудові ефективного керування на кожному з рівнів і не менш ефективному їх комплексуванні.

Розглянемо особливості побудови інтелектуальних САК МБНС, які ґрунтуються на принципах багаторівневої структури.

Сам розподіл на рівні є досить умовним і в значній мірі залежить від конкретної реалізації МБНС.

У якості основної класифікаційної ознаки при виділенні рівнів керування МБНС використовують властивості об'єктів (складових МБНС), керування якими реалізується на відповідному рівні.

Нижній рівень – рівень керування приводами виконавчих механізмів МБНС і виконання базових операцій – елементарних рухів, а також збору інформації про зовнішнє середовище.

Середній рівень – аналіз інформації про середовище та умов функціонування МБНС, формування послідовності базових операцій та контроль їх виконання для рішення поставленої верхнім рівнем завдання (вибір шляхи руху, траєкторії руху виконавчих органів та ін.).

Верхній рівень – рівень ухвалення рішення або допомоги людині в постановці завдання та у первинній постановці цілей функціонування об'єктів керування. У найближчій перспективі найбільш важливі функції цього рівня залишаються за людиною. Потенційно, ряд дослідників вважають, що рішення завдань цього рівня може бути виконане без участі людини за допомогою "сильного" штучного інтелекту.

Поза залежністю від границь рівнів системи керування при побудові МБНС необхідна інтеграція всіх рівнів керування, зокрема, вико-

ристання єдиного механізму обміну даними й програмування всіх рівнів (кросплатформності).

Тоді узагальнена структури САК рухом МБНС в умовах дії зовнішніх збурень буде мати вигляд, показаний на рис. 1.

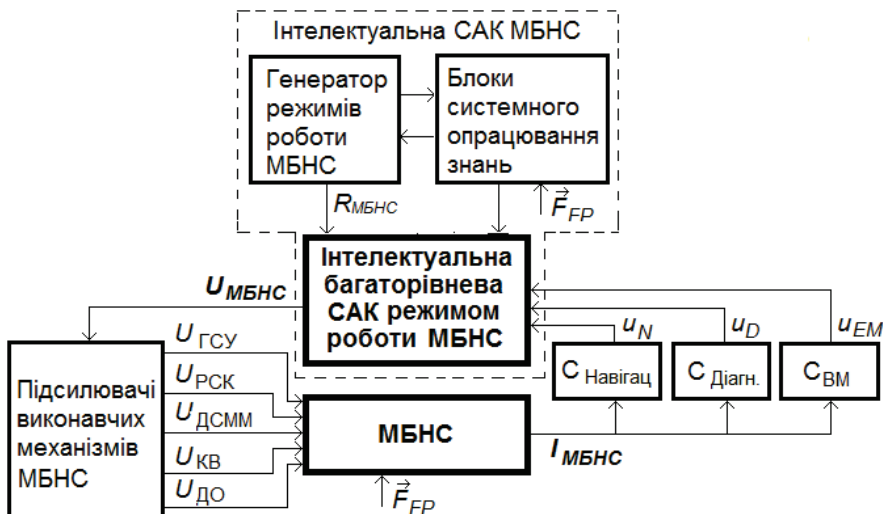


Рисунок 1 – Узагальнена структурна схема САК рухом МБНС

Розглянемо основні принципи роботи запропонованої інтелектуальної САК.

Генератор режимів роботи МБНС – це програмний пристрій чи радіоканал, через який задається поточний режим роботи МБНС згідно множині (1).

Блоки системного опрацювання знань призначені для аналізу зовнішньої обстановки (вектору $\vec{F}_{FP}$) на основі використання наступних інформаційних технологій – експертних систем, штучних нейронних мереж, нечіткої логіки, еволюційних методів і генетичних алгоритмів.

В основу концепції інтелектуальності, зазвичай, покладено:

- уміння системи працювати з формалізованими знаннями людини (експертні системи, нечітка логіка);
- властиві людині способи навчання і мислення (нейронні мережі, генетичні алгоритми).

САК режимом роботи МБНС реалізує заданий режим роботи судна, у результаті чого формується множина $U_{\text{МБНС}}$ сигналів керування виконавчими механізмами МБНС. Після підсилення генерованих САК сигналів керування ГСУ, РСК, ДСММ, КВ та ДО (відповідно, сигнали $U_{\text{ГСУ}}$, $U_{\text{РСК}}$, $U_{\text{ДСММ}}$, $U_{\text{КВ}}$ та $U_{\text{ДО}}$) вони надходять до відповідних виконавчих механізмів МБНС і, таким чином, забезпечують виконання заданого йому режиму функціонування.

Вихідними сигналами МБНС є множина інформаційних сигналів $I_{\text{МБНС}}$, які характеризують поточний стан МБНС як об'єкту керування.

Важливою складовою САК є система сенсорів, яка складається з трьох груп:

- навігаційних сенсорів $C_{\text{Навігац.}}$, які забезпечують САК інформацією про поточні навігаційні характеристики МБНС (курс, швидкість, географічні координати, а також їх похідні);
- діагностичні сенсори $C_{\text{Діагн.}}$, які дають інформацію про технічний стан виконавчих вузлів, механізмів і систем МБНС;
- сенсори $C_{\text{ВМ}}$ виконавчих механізмів МБНС, які утворюють зворотній зв'язок для САК по керованим величинам МБНС як об'єкту керування.

Множина сигналів сенсорів u_N , u_D та u_{EM} утворюють необхідні канали зворотного зв'язку, необхідного для ефективної роботи САК в основних режимів роботи згідно (1).

Таким чином, запропонована АК МБНС реалізує два узагальнені принципи інтелектуального керування :

- керування на основі аналізу зовнішніх даних ситуацій та подій (ситуаційне керування з урахуванням впливів $\vec{F}_{FP}$);
- використання сучасних інформаційних технологій обробки знань.

Висновок. На основі аналізу основних режимів функціонування МБНС розроблено узагальнену структуру інтелектуальної системи автоматичного керування таким об'єктом, яка враховує вплив невідзначеностей зовнішніх збурень та дає змогу синтезувати відповідні закони керування судном в умовах їх активної дії.

Список літератури:

1. Joel Coito. Maritime Autonomous Surface Ships: New Possibilities—and Challenges—in Ocean Law and Policy. Published by the Stockton Center for International Law. Volume 97, 2021. 49 Pages. <https://digital-commons.usnwc.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2955&context=ils>
2. Блінцов В.С., Соколов В.В. Сучасні задачі автоматизації керування безекіпажним надводним катером. Матеріали XXIII міжнародної конференції з автоматичного управління (Автоматика-2016), м. Суми, 22-23 вересня 2016 року. – Суми : Сумський державний університет, 2016. – С. 201-202
3. Богуславский А.А., Боровин Г.К., Карташев В.А., Павловский В.Е., Соколов С.М. Модели и алгоритмы для интеллектуальных систем управления. М.: ИПМ им. М.В.Келдыша, 2019. 228 с. <https://doi.org/10.20948/mono-2019-boguslav>
4. Интеллектуальные навигационно-телекоммуникационные системы управления подвижными объектами с применением технологии облачных вычислений / Н. Г. Марков, Д. М. Сонькин, А. С. Фадеев и др. – М.: Горячая линия–Телеком, 2014. –158 с.

УДК 629

**МАНІПУЛЯТОР ПІДВОДНОГО АПАРАТУ
ДЛЯ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ**

***Автор:** Тітов А.В., магістрант, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна*

***Науковий керівник:** Бабкін Г.В., к.т.н, доцент НУК, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна*

Вода займає 70,8% площі всієї землі, а саме понад 361 мільйон квадратних кілометрів. Сам факт цього залучає вчених до вивчення, дослідження та знаходження практичного застосування особливостей гідросфери для життя людини.

В даний час у світі проводиться великий обсяг робіт з дослідження морського і океанського дна, виявлення затонулих об'єктів і підйому їх, контролю прокладених по дну трубопроводів. Кількість цих трубопроводів незмінно зростає, розробка нафтових родовищ у шельфовій зоні проводиться все активніше, тому контроль за загальним станом мережі є про-

блемою, вирішення якої пов'язане з проектуванням новітніх механічних систем, здатних переміщати під водою прилади для контролю стану труб, що забезпечують надійну роботу з достатньою точністю позиціонування.

Найактуальніші сфери застосування підводного робота з маніпулятором:

1) Оглядово-пошукові роботи, включаючи пошук та обстеження затонулих об'єктів, інспекцію підводних споруд та комунікацій (трубопроводів, водопроводів, кабелів);

2) Підлідні роботи, у тому числі прокладання кабелю на арктичному дні, обслуговування систем спостереження та освітлення підлідної обстановки;

3) Океанографічні дослідження, моніторинг водного середовища;

4) Роботи військового призначення, що включають, зокрема, протичовнову розвідку, патрулювання, забезпечення безпеки об'єктів військової техніки, пошук та знешкодження мін.

Тенденціями розвитку підводних роботів йде використання універсальних робототехнічних комплексів, створених із застосуванням простих, малих і дешевих агрегатів. У цьому маніпулятор сприймається як найважливіша складова частина підводного робота.

Підводні маніпулятори є частиною великого сімейства промислових роботів. Вони встановлюються на населених і безлюдних підводних апаратах, самопідйомних платформах, гирловому обладнанні морських свердловин.

У сукупності маніпулятора та підводного апарату народжується поняття підводного Апарату-робота. До 80% заселених підводних апаратів і 50% безлюдних озброєні, як мінімум, одним маніпулятором, а значна частина їх числа має по два і більше маніпуляторів.

У зв'язку з проблемою автоматизації різних виробничих процесів через труднодоступність та небезпеки для людини вирішується завдання автоматичної орієнтації (маніпулювання) робочого органу, виробу або інструменту. Повною мірою це стосується цілого ряду робіт під водою, чим і пояснюється широке впровадження маніпуляторів у підводну техніку та підводні технології.

Отримані наступні результати:

1 Розроблена структура й склад маніпулятору що містять складові частини: маніпулятор, блок електроніки й комутації, системи керування маніпулятору, кабелі забортної комутації.

2 Маніпулятор забезпечує утримання й орієнтування вантажу заданої маси й форми в сферичній системі координат із необхідними швидкостями переміщення в умовах зовнішнього морського середовища з параметрами, заданими в технічному завданні.

3 Система керування маніпулятору обробляє керуючі сигнали по дії оператора, передає їх на блок електроніки й комутації та разом з інформаційною системою НПА здійснює контроль положення ланок маніпулятору, також керує енергоживленням маніпулятору.

4 Кабелі забортної електрокомутації забезпечують надійну передачу керуючих сигналів і енергії в умовах зовнішнього впливу морського середовища, параметри якої визначені в технічному завданні.

5 маніпулятору має наступні переваги:

- мінімальне число складових компонентів;
- застосування стандартних технічних рішень і конструктивних компонентів;
- технологічність у виготовленні;
- простота й зручність технічного обслуговування;
- достатня міцність у трьох координатних площинах;
- застосування доступних матеріалів (металів і композитних);
- невисокі масогабаритні показники.

Список літератури:

1. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3 т. Т. 1. – 8-е изд., перераб. и доп. Под. ред. И. Н. Жестковой. – М.: Машиностроение, 2001. – 920 с.: ил. (Т2-912с, Т3-864 с)

2. Бурдаков С. Ф. и др. Проектирование манипуляторов промышленных роботов и роботизированных комплексов: Учеб. пособие для студ. вузов, обучающихся по спец. "Робототехнические системы"/ С. Ф. Бурдаков, В. А. Дьяченко, А. Н. Тимофеев – М.: Высшая школа, 1986, – 264 с.: ил.

3. Детали и механизмы роботов: Основы расчёта, конструирования и технологии производства: Учеб. пособие/ Р. С. Веселков, Т. Н. Гонтаровская, В. П. Гонтаровский и др. Под ред. Б. Б. Самотокина. – К.: Выща шк., 1990 – 343 с.: ил.

4. Копылов И.П. Справочник по электрическим машинам. М.: Атомэнергоиздат. 1982 г.
5. Материалы в машиностроении. Т. 1. 2. Цветные металлы и сплавы. Под ред. Лужникова Л. П. Машиностроение, 1967 г.
6. Механика промышленных роботов: Учеб. Пособие для вузов: В 3 кн./Под ред. К. В. Фролова, Е. И. Воробьева. Кн. 3: Основы конструирования/ Е. И. Воробьев, А. В. Бабич, К. П. Жуков и др. – М.: Высш. шк., 1989.–383 с.: ил.
7. Проектирование и разработка промышленных роботов/ С. С. Аншин, А. В. Бабич, А. Г. Баранов и др.; Под общ. ред. Я. И. Шифрина, П. Н. Белянина. – М.: Машиностроение, 1989. – 272 с.: ил. – (Автоматические манипуляторы и робототехнические системы).

УДК 681.5

ЗАДАЧІ ПРИРОДООХОРОННОГО МОНІТОРИНГУ МІЛКОВОДНИХ АКВАТОРІЙ ТА ЇХ РОБОТОТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

***Автор:** Трибулькевич В.В., аспірантка, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна*

Вступ.

Державний моніторинг вод є складовою частиною державної системи моніторингу довкілля. Він здійснюється з метою забезпечення збирання, обробки, збереження, узагальнення та аналізу інформації про стан водних об'єктів, прогнозування його змін та розроблення науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття рішень у галузі використання, охорони вод та відтворення водних ресурсів.

Об'єктами державного моніторингу вод є:

- масиви поверхневих вод (поверхневі водні об'єкти або їх частини), в тому числі прибережні води та зони (території), які підлягають охороні;
- морські води в межах територіального моря та виключної морської економічної зони України.

На цей час основну частину вод, які доступні державному моніторингу, складають мілководні акваторії (з глибинами не більше 100

метрів), тому у даному дослідженні розглядаються задачі розробки сучасних роботизованих технологій природоохоронного моніторингу саме для мілководних акваторій.

Зазначимо, що актуальність дослідження обумовлена як законодавчими актами України [1, 2], так і міжнародними угодами, які накладають на Україну низку зобов'язань у напрямку контролю за станом її водних ресурсів [3, 4].

Викладення основного матеріалу.

Аналіз результатів сучасних досліджень у напрямку моніторингу вод свідчить, що до основних екологічних проблем водогосподарського комплексу України можна віднести наступні [5-7]:

- евтрофікація водних об'єктів;
- хімічне, теплове, радіаційне, бактеріологічне забруднення водних об'єктів;
- зміна видового складу та зменшення біорізноманітності водних екосистем;
- зміна гідрологічного режиму річок внаслідок їх зарегулювання, створення водосховищ та осушення боліт тощо.

Системний аналіз сучасного екологічного стану водних ресурсів України свідчить про наявність наступних проблем [8-10]:

- надмірне антропогенне навантаження на водні об'єкти, що призвело до зменшення самовідтворювальних можливостей мілководних акваторій (річок, озер, водосховищ) та є причиною виснаження водоресурсного потенціалу держави;
- відсутність автоматизованої постійно діючої системи моніторингу вод на підприємствах-забруднювачах та відсутність системи моніторингу морських акваторій у територіальних водах держави;
- відсутність дієвого контролю за скидами стічних вод та за скидами лояльних вод з суден.

З метою отримання повноцінної інформації щодо стану поверхневих вод, забезпечення точності, достовірності та оперативності вимірювань, прийняття обґрунтованих управлінських рішень необхідно залучати нові роботизовані технології моніторингу поверхневих вод та стану донної поверхні.

Створення та впровадження у господарську практику таких технологій відповідає вимогам Водної Рамкової Директиви ЄС [11].

Позитивний вітчизняний досвід розробки і застосування природоохоронних підводних апаратів-роботів [12-14], а також застосування безекіпажних надводних суден для рутинних гідрометричних і батиметричних досліджень річкових акваторій [15, 16] вказують на застосування морських роботів як на магістральний шлях підвищення оперативності та достовірності природоохоронних досліджень мілководних акваторій.

Розглянемо тепер стан забезпечення вітчизняних організацій приладами для природоохоронних досліджень.

Переважну більшість лабораторій водогосподарських організацій України оснащено засобами вимірювань, що є фізично та морально застарілими, а технології їх застосування не відповідають європейським підходам щодо організації оперативного моніторингу стану навколишнього природного середовища [17].

Тому завдання T_{MSW} побудови системи роботизованого моніторингу мілководних акваторій України необхідно розв'язувати у трьох аспектах:

- оснащення природоохоронних служб держави сучасною приладовою вимірювальною базою для оперативних (“online”) вимірювань гідрофізичних та гідрохімічних параметрів водного середовища та для дистанційного пробовідбору води і ґрунту (множина завдань E_D);

- оснащення природоохоронних служб держави сучасними засобами морської робототехніки (ЗМР – безекіпажними надводними і підводними апаратами-роботами та безпілотними літальними апаратами) для оперативної доставки вимірювальних приладів та пробовідбірників води і ґрунту у задані точки акваторій та для дистанційного керування процесами вимірювань та пробовідбору (множина завдань E_R);

- розробка нових роботизованих технологій виконання природоохоронних робіт на водних акваторіях держави із застосуванням ЗМР та підготовка кадрів для їх ефективного використання (множина завдань D_{RT}).

Таким чином, генеральну множину завдань T_{MSW} можна представити наступними множинами завдань:

$$T_{MSW} = \{E_D; E_R; D_{RT}\}. \quad (1)$$

Базовий склад приладово-вимірювальної бази, необхідної для оперативних вимірювань гідрофізичних та гідрохімічних параметрів

водного середовища та для дистанційного пробовідбору води і ґрунту (множина завдань E_D) має включати дві основні групи приладів.

Перша група приладів E_{DQ} призначена для дослідження складу і якості води і має включати:

- прилади CTD для вимірювання електропровідності, солоності, температури та глибини);
- вимірники змісту кисню, кислотності та лужності води;
- вимірники прозорості води;
- вимірники хлорофілу (флюорометри);
- давачі розчиненого вуглецю й азоту;
- давачі вуглеводнів;
- дистанційно керовані пробовідбірники води.

Друга група приладів E_{DW} – це комплекси для дослідження поверхні дна, підповерхневого шару, бентосу:

- гідролокатори й багатопроменеві ехолоти для картографування дна;
- батиметричні гідролокатори;
- донні пробовідбірники.
- спеціалізовані камери для отримання зображень профільованих відкладень ґрунту ;
- детектори рухів морських організмів.

Очевидно, що обидві групи приладів мають передбачати дистанційне керування їх функціонуванням, оскільки будуть встановлюватись на надводних, підводних та літальних апаратах-роботах.

Таким чином, множину завдань E_D приладового забезпечення для дистанційно керованого або автоматичного дослідження мілководних акваторій можна записати у вигляді двох підмножин:

$$E_D = \{E_{DQ}; E_{DW}\}. \quad (2)$$

Можливий склад ЗМР для оперативного природоохоронного моніторингу вбачається у залученні наступних видів робіт:

- безпілотних літальних апаратів (БЛА) R_{UAV} , вимірювальна апаратура яких здатна виокремлювати і документувати ознаки екологічних забруднень в оптичному діапазоні;
- безекіпажних надводних дистанційно керованих та автономних малорозмірних суден (катерів) R_{USV} , за допомогою яких доцільно

виконувати оперативне фото-, відео- та приладове дослідження параметрів води та документування результатів досліджень;

- автономних самохідних підводних апаратів-роботів (АНПА) R_{AUV} , за допомогою яких доцільно проводити пошук екологічно небезпечних об'єктів та досліджувати гідрофізичні й гідрохімічні параметри водного середовища, а також при їх груповому застосуванні – безперервний моніторинг найбільш загрозливих акваторій;

- донних підводних апаратів-роботів (ДПА) R_{BUV} , які мають підвищену автономність і здатні виконувати природоохоронні вимірювання тривалий час, підтримуючи інформаційний канал з береговим центром для оперативної передачі екологічної інформації;

- самохідних прив'язних підводних апаратів-роботів (СППА) R_{ROV} , за допомогою яких доцільно виконувати оперативне відео- та приладове обстеження водного середовища та морського дна, а також виконувати дистанційний відбір проб води і ґрунту для подальшого лабораторного аналізу в берегових умовах;

- буксируваних підводних апаратів-роботів (БПА) R_{TUV} , призначених для виконання пошукових робіт гідроакустичними та магнітометричними засобами з високою продуктивністю.

Тоді завдання E_R оснащення природоохоронних служб держави сучасними ЗМР можна представити у вигляді наступних підмножин:

$$E_R = \{R_{UAV}; R_{USV}; R_{AUV}; R_{BUV}; R_{ROV}; R_{TUV}\}. \quad (3).$$

Залежно від цілей та завдань державного моніторингу вод встановлюються такі процедури M_{MSW} його роботизованого проведення [18]:
процедура діагностичного моніторингу мілководних акваторій M_D ;
процедура операційного моніторингу мілководних акваторій M_O ;
процедура дослідницького моніторингу мілководних акваторій M_S .

Таким чином, множину процедур M_{MSW} роботизованого моніторингу мілководних акваторій можна записати у вигляді наступних підмножин:

$$M_{MSW} = \{M_D; M_O; M_S\}. \quad (4)$$

Кожна з підмножин (4), у свою чергу, містить перелік місій моніторингу мілководних акваторій, які мають виконати ЗМР, та створення яких передбачає множина (3).

Розглянемо тепер множину завдань D_{RT} , які передбачають розробку нових роботизованих технологій та підготовку кадрів для ефективного використання ЗМР. Роботи, які передбачаються цією множиною завдань, мають ґрунтуватись на роботах попередніх завдань (1), оскільки ефективність їх реалізації суттєво залежить від рівня розв'язку завдань E_D та E_R .

На попередньому етапі розробки множину завдань D_{RT} достатньо представити у вигляді двох підмножин:

- підмножини D_{RT-I} робіт з розробки, власне, технологій (послідовності виконання конкретних робіт) за допомогою ЗМР, доступних для розробника згідно (3) для реалізації процедур (4);
- підмножини D_{RT-H} робіт з організації навчального процесу з метою підготовки операторів ЗМР.

Тоді множину D_{RT} можна представити у вигляді двох підмножин:

$$D_{RT} = \{D_{RT-I}; D_{RT-H}\}. \quad (5)$$

Попередній аналіз складових множин (1)-(5) свідчить, що для більшості з них найбільш складним та трудомістким є розробка систем автоматичного керування ЗМР. Це обумовлено тим, що синтез систем автоматизованого та автоматичного керування ЗМР необхідний:

- при реалізації завдань множини E_D (створення систем дистанційного та автоматичного керування вимірюваннями гідрофізичних та гідрохімічних параметрів водного середовища та дистанційним керуванням пробовідбірниками води і ґрунту);
- при створенні ЗМР як дистанційно або автоматичного керованих носіїв приладового вимірювального обладнання;
- при розробці новітніх робототехнічних технологій виконання природоохоронних робіт на мілководних акваторіях.

Висновки.

1. Обґрунтовано доцільність та можливість виконання природоохоронних задач на мілководних акваторіях за допомогою новітніх засобів морської робототехніки.

2. Методом теорії множин складено перелік основних задач щодо створення та ефективного використання засобів морської робототех-

ніки для виконання природоохоронного моніторингу мілководних акваторій, що утворює теоретичне підґрунтя для практичної реалізації отриманого переліку задач.

Список літератури:

1. Постанова КМУ від 19.09.2018 р. № 758 "Про затвердження Порядку здійснення державного моніторингу вод".
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/758-2018-%D0%BF#Text>

2. Протокол засідання громадської ради при Державному агентстві водних ресурсів України від 25.10.2018 № 10.
<https://www.davr.gov.ua/protokol-zasidannya-gromadskoi-radi-pri-derzhavnomu-agentstvi-vodnih-resursiv-ukraini-vid-25102018--10>

3. Закон України «Про ратифікацію Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами – членами, з іншої сторони». Відомості Верховної Ради, 2014, №40, ст. 2021).
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1678-18#Text>

4. Директива 2000/60/ЄС Європейського Парламенту і Ради "Про встановлення рамок діяльності Співтовариства в галузі водної політики" від 23 жовтня 2000 року.
https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_962#Text

5. Сучасні інформаційні технології екологічного моніторингу Чорного моря / Довгий С.О., Красовський Г.Я., Радчук В.В. та ін. Під ред. С.О. Довгого – К.: Інформаційні технології, 2010. – 260 с.

6. Колтунович О. Проблеми та перспективи розвитку водогосподарського комплексу в Україні та країнах-членах СНД. – Економіка і суспільство. – Мукачівський державний університет, 2017. – Випуск №12. – С. 444-448.

7. Білоконь В. Стратегічні підходи до формування водної політики України. <https://kievvlavlast.com.ua/project/resources/attachments/4giqtP66.pdf>

8. Карпова Г, Зуб Л, Мельничук В., Проців Г. Оцінка екологічного стану водойм методами біоіндикації. Перші кроки до оцінки якості води. – Бережани, 2010. – 32 с.

9. Екологічні основи управління водними ресурсами : навч. посіб. / А.І. Томільцева, А.В. Яцик, В.Б. Мокін та ін. – К. : Інститут

екологічного управління та збалансованого природокористування, 2017. – 200 с.

10. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. – К.: «Символ-Т», 1998. – 28 с.

11. Директива 2000/60/ЄС Європейського Парламенту і Ради "Про встановлення рамок діяльності Співтовариства в галузі водної політики" від 23 жовтня 2000 року

12. Блинцов В.С. Проблемы создания природоохранных подводных роботов. // Тезисы докладов 1-й международной научно-технической конференции "Проблемы энергосбережения и экологии в судостроении". – Николаев: УГМТУ. – 1996. – С. 101-102.

13. Блинцов В.С. Приборы и технологии мониторинга водной среды – современный аспект. // Проблемы энергосбережения и экологии в судостроении: Материалы 3-й международной научно-технической конференции. Тезисы докладов. – Николаев: УГМТУ, 2002. – С. 18-19.

14. Створення універсальних транспортних суден і засобів океанотехніки: Монографія / С.С. Рижков, В.С. Блінцов, Г.В. Єгоров, Ю.Д. Жуков, В.Ф. Квасницький, К.В. Кошкін, І.В. Кривцун, В.О. Некрасов, В.В. Севрюков, Ю.В. Солоніченко; за ред. С.С. Рижкова. – Миколаїв: Видавництво НУК, 2011. – 340 с.

15. ARCboat survey vessels.
<http://www.hrwallingford.com/expertise/arc-boat>

16. Compact ARCboat Lite Enables Safer and More Efficient Surveys.
<https://www.hydro-international.com/content/news/compact-arcboat-lite-enables-safer-and-more-efficient-surveys#>

17. Моніторинг та охорона біорізноманіття в Україні : Прикладні аспекти моніторингу та охорони біорізноманіття / Серія: «Conservation Biology in Ukraine». – Вип. 16. Т. 3. – Київ; Чернівці : Друк Арт, 2020. – 528 с.

18. Блинцов В.С., Костенко Ю.К. Автоматизированная система мониторинга гидротехнических сооружений водных транспортных путей. // Портові технології та техніка мореплавання: Зб. наук. праць. – Одеса: «ВидавІнформ» ОНМА, 2007. – С. 48-57.

УДК 629

ОПТИМІЗАЦІЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕНТИЛЯЦІЙНОГО ПРИСТРОЮ МАШИННОГО ВІДДІЛЕННЯ

***Автор:** Філевський Д.О., магістрант, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна*

***Науковий керівник:** Бабкін Г.В., к.т.н, доцент НУК, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна*

В сучасному світі, коли автоматика увійшла в наше життя на цілодобовому рівні, людство хоче відчувати автоматизований комфорт на всіх рівнях. Припливно-витяжна вентиляція машинного відділення судна є однією з найбільш важливих систем, так як в її завдання входить забезпечення свіжим повітрям дизелі, котли, інснератори та інші потребуючі повітря механізми, а також членів екіпажу які працюють в машинному відділенні. Автоматизація системи припливно витяжної вентиляції дозволить не тільки заощадити енергію але і поліпшить комфорт її експлуатації та обслуговування.

Мета роботи – створити систему управління вентилятором за допомогою перетворювача частоти, яку опціонально можна буде збирати в різних комплектаціях в залежності від призначення, тобто такі модулі можна буде використовувати і в системах вентиляції житлових приміщень, спецприміщень і установках змінюючи комплектацію на вимогу.

Актуальність теми. Забезпечення підвищення ефективності експлуатації системи вентиляції та її економічність є однією з найважливіших проблем при проектуванні систем вентиляції на судах. Зазвичай в даних системах має місце відхилення параметрів повітря від норми, яке виражається недоліком свіжого повітря, підвищеною сухістю або вологістю повітря, зниженою або підвищеною температурою повітря. Причинами цього є технічна недосконалість систем вентиляції, та застосований при проектуванні підхід щодо забезпечення середнього рівня комфорту, який багато чого не враховує. Особливо гостро питання постає у зв'язку зі збільшенням психологічного «мозкового» навантаження на відповідальний персонал з пропорційно-зростаючим ступенем відпо-

відальності. Дослідження показують що переважна більшість надзвичайних подій та аварійних ситуацій відбувається через втрату уваги та перевтому екіпажу, на що безпосередній вплив надає якість повітряного середовища навколо людини, не кажучи вже про загальновідомий вплив вентиляції на продуктивність праці та індивідуальні характеристики навколишнього середовища для роботи дизелів та іншого обладнання судна. Сучасні системи автоматизації вентиляції є складними системами з безліччю обладнання, що відслідковує температуру та тиск повітря, а також виконують управління різними технологічним обладнанням і процесами, необхідними для повноцінної і ефективної експлуатації. Тому розробка системи забезпечення необхідних параметрів вентиляції машинного відділення судна є важливим та перспективним напрямком, що забезпечує підвищення комфорту експлуатації, безпеку, економію та зниження витрат при експлуатації.

Список літератури:

1. Промышленная сеть. [Електронний ресурс] // Википедия – 2013 – Режим доступу: http://ru.wikipedia.org/wiki/Промышленная_сеть, вільний.
2. Энциклопедия АСУ ТП. [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://bookasutp.ru/>, вільний.
3. Построение надежных сетей на базе интерфейса RS-485. [Електронний ресурс] // МИКРОЛ – 2012 – Режим доступу: http://www.microl.ua/index.php?option=com_jdownloads&Itemid=72&task=finish&cid=549&catid=32, вільний.
4. Керування мікрокліматом . [Електронний ресурс] // Википедия – 2019 – Режим доступу: http://ru.wikipedia.org/wiki/Керування_микроклиматом, вільний.

УДК 629

РІЗАК ПІДВОДНОГО АПАРАТУ ДЛЯ ПЕРЕРІЗАННЯ ЗАТОНУЛИХ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

***Автор:** Цвігун Д.М., магістрант, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна*

***Науковий керівник:** Бабкін Г.В., к.т.н, доцент НУК, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна*

В даний час для дослідження та освоєння Світового океану активно використовуються підводні роботи, оснащені різним підводним інструментом. З його допомогою вдається виконувати багато складних технологічних операцій на різних глибинах занурення. Наразі спостерігається безперервне розширення областей застосування підводних робототехнічних систем за рахунок виконання нових видів робіт. Якісне виконання підводних операцій вимагає створення принципово нових систем управління як підводними апаратами, а й підводним інструментом як його складовими частинами. У зв'язку з цим, перед багатьма провідними світовими науково-дослідними центрами стоїть завдання розробки підводного інструменту, зокрема універсальних, орієнтованих певні класи підводних робіт.

Вчинення технологічних операцій, що виконуються підводним роботом, необхідно не тільки для того, щоб проводити демонтаж підводних об'єктів з морського дна, але і для виконання ряду ремонтних робіт. Як приклад, це різання підводних трубопроводів, демонтаж перешкод у разі відмови обладнання тощо. Людство заклало на дно світового океану величезну кількість гідротехнічних споруд, серед яких за своєю протяжністю та розгалуженістю можна виділити підводні трубопровідні системи, що знаходяться на дні морів та інших водойм. За міжнародними правилами проводити інспекцію таких підводних об'єктів потрібно щонайменше 2 рази на рік. Проблема полягає в тому, що на морському дні потужні підводні течії, і ґрунт згодом змінює свій рельєф.

Мета цієї роботи полягає у створенні ріжучого інструменту для телекерованого підводного апарату. Об'єктами дослідження є сам рі-

зак та система взаємодії між ним та носієм. Режуча система, що проектується, призначена для різання малогабаритних об'єктів під водою, а також супроводі ремонтних робіт водолазів на підводних об'єктах.

У ході виконання роботи було розроблено основні типи схем: структурна, функціональна, електрична принципова, кінематична.

На основі спроектованого та зібраного різак зроблено висновки та розпочато підготовку конструкторської документації для ріжучої системи.

Наукова новизна роботи полягає у самій концепції різак та алгоритмах, що мають дворівневу систему, а також застосуванні вже існуючих методик для вирішення поставлених завдань.

1 Розроблена структура й склад різак, що містять складові частини: різак, кабелі заборотної комутації.

2 Дволанковий різак забезпечує різання металевих конструкцій діаметром не більше 20 мм в умовах зовнішнього водного середовища.

3 Кабелі заборотної комутації забезпечують надійну передачу керуючих сигналів й енергії в умовах зовнішнього впливу морського середовища, параметри якої визначені в технічному завданні.

4 Різак має наступні достоїнства:

- мінімальне число складених компонентів;
- застосування стандартних технічних рішень і конструктивних компонентів;
- технологічність у виготовленні;
- простота й зручність технічного обслуговування;
- достатня міцність у трьох координатних площинах;
- застосування доступних матеріалів (металів і композитних);
- невисокі масогабаритні показники.

Список літератури:

1. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3 т. Т. 2. – 8-е изд., перераб. и доп. Под. ред. И. Н. Жестковой. – М.: Машиностроение, 2001. – 920 с.: ил. (Т2-912с,Т3-864 с)

2. Копылов И.П. Справочник по электрическим машинам. М.: Атомэнергоиздат. 1982 г.

3. Материалы в машиностроении. Т. 1. 2. Цветные металлы и сплавы. Под ред. Лужникова Л. П. Машиностроение, 1967 г.

4. Механика промышленных роботов: Учеб. Пособие для вузов: В 3 кн./Под ред. К. В. Фролова, Е. И. Воробьева. Кн. 3: Основы кон-

струирования/ Е. И. Воробьев, А. В. Бабич, К. П. Жуков и др. – М.: Высш. шк., 1989.–383 с.: ил.

5. Проектирование и разработка промышленных роботов/ С. С. Аншин, А. В. Бабич, А. Г. Баранов и др.; Под общ. ред. Я. И. Шифрина, П. Н. Белянина. – М.: Машиностроение, 1989. – 272 с.: ил. – (Автоматические манипуляторы и робототехнические системы).

6. Аршинив В.А., Алексеев Г.А. Резание металлов и резательный инструмент. – М.: Машиностроение, 1976.

**СЕКЦІЯ 4. ПІДВОДНА АРХЕОЛОГІЯ
ТА ЕКСПЕДИЦІЙНА ДІЯЛЬНІСТЬ**

**ПІДВОДНІ АРХЕОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАТОНУЛОГО
АНТИЧНОГО СУДНА КІНЦЯ IV- ПОЧАТКУ III СТ. ДО Н.Е.
В ЧОРНОМОРСЬКІЙ АКВАТОРІЇ КІНБУРНСЬКОЇ КОСИ В
2018 – 2019 РР.**

***Автори:** Герасімов В., М.А. Інститут археології НАН України, м. Київ, Центр досліджень античності Південно-Східної Європи Варшавського Університету, Польща; Рейда Р., к.і.н., Інститут археології НАН України, м. Київ; Смирнов О., М.А. Миколаївський національний університет імені В.О.Сухомлинського, м. Миколаїв, Національний історико-археологічний заповідник «Ольвія» НАН України; Преїс П., М.А. Association of Archaeologists of Tomorrow (SAJ) Варшава, Польща; Лоїзоу Е., М.А. Університет Арістотеля, Тесалонікі, Греція*

Abstract

In the season 2018 the joint underwater archaeological expedition carried underwater archaeological exploration in the waters of Tendra Spit and Kinburn Spit on the shelf of the Black Sea, Ukrainian Mykolaiv and Kherson regions. Underwater archaeological exploration focused on the waters near the northern tip of Tendra Spit, from both the Gulf of Tendra and the sea, and north-western tip of Kinburn Spit. In addition to the visual reconnaissance, divers were using sonar, profiler and side-scan sonar. As a result, it was possible to prepare a bathymetric map. In the initial part of research, the work was limited to mapping and taking photographs of the discoveries. During these works was discovered and cleansed the ancient Shipwreck of the late 4th century, beginning of the 3rd century BC. It was possible to identify a well-preserved fragment of the hull of an ancient Wreck of a length of 9.45 m in situ with ballast stones, ceramic material from the cargo, lead plating and him constructions elements. After clearing of the sand from the preserved part of the ship's hull with the help of a hydro injector, was carried video and photo documentation out. As a result of these works, were made a large-scale photo mosaic of the object and its 3D model. The condition of the wooden hull is excellent, are preserved technological holes, connections, bronze and iron nails.

Keywords: Underwater archaeology, Black Sea, Amphora, Ship, Ukraine, Wreck.

Місцеположення, природні варункі та ландшафти в районі Кінбурнської коси.

Кінбурнській півострів розташований в Північно-Західній частині акваторії Чорного моря на виході Дніпровсько-Бузького лиману в адміністративних межах Миколаївської та Херсонської областей України. Кінбурнська коса це довга і вузька піщана коса, вона є північно-західним закінченням низького Кінбурнського півострова розташованого між Дніпровсько-Бузьким лиманом з півночі, Тендрівською та Ягорлицькою затоками Чорного моря з півдня, південного сходу [1]. Його довжина становить 45 км, а ширина 4 – 12 км. Уздовж морського узбережжя присутній добре сформована смуга пляжів. Західна частина півострова адміністративно відноситься до Очаківському району Миколаївської області (Рис. 1).



Рисунок 1. — Акваторія Кінборнської коси (надано за Google Maps).

Велика частина території відноситься до Чорноморського біосферного заповідника, НПП «Білобережжя Святослава» та РЛП «Кінбурнська коса». Геологічну основу півострова представляють алювіальні відкладення Дніпра і Бугу, висловлені тут потужної товщею пісків. На косі є джерела прісної води рослинність переважно представлена аренними

дубравами, черноольшанніками, Дрібнолисті березою дніпровською і чагарниками, суходільними луками на пісках, засоленими луками на пісках, луками літоральної зони, степовими і болотними спільнотами, галофітами. Присутні й штучні ліси, в основному соснові [2].

У північно-західній частині коси і на північний схід від неї періодично виникають потужні течії, викликані плином Дніпра і штормами характерними для Гендрівської затоки, спрямовані з північного заходу на південний схід, і навпаки, які разом з невеликими глибинами могли становити велику небезпеку для кораблів, що знаходилися в цьому районі або на якірній стоянці. Низькі піщані береги коси безумовно представляли велику небезпеку як для древніх мореплавців, так і для сучасного судноплавства в цьому районі, про що свідчать численні затонулі об'єкти стародавнього і нового часу в акваторії коси.

Історичні та архівні свідчення о районі досліджень.

Безпосередня близькість Кінбурнської коси до таких античним поселенням як Борисфен (Березань) і Ольвія, а також її вигідне розташування щодо древніх морських шляхів в цій частині басейну Чорного моря швидше за все послужили підставою для розміщення тут святилища Ахілла. Підтвердженням його існування в античні часи на косі може служити одне з перших археологічних свідoctв, виявлений в 1885 році рибалками кам'яний вівтар циліндричної форми з грецьким написом присвячений Ахілла, що датується IV – початком III ст. до н.е. [3] (Рис. 2). Він був знайдений під водою у північно-західній частині коси під водою в 20 метрах від берега, в даний час знаходиться в Херсонському краєзнавчому музеї.

Більшість дослідників тримаються думки що саме з Кінбурнською косою слід ототожнювати давній топонім «Гілея» (грец.- Γυλαία) що означає «Країна лісів», чисельні згадки про який містяться в античних джерелах. Наприклад, даючи опис цього району Геродот пише: «Коли він (Анахарсій) прибув у Скіфію, то заглибився в так звану Гілею (ця країна розташована поблизу Ахіллесового шляху і вся вона заросла різноманітними деревами)» [4].

У 2012 р в акваторії Кінбурнської коси, всього в 2 км від місця проведених досліджень в 2018 р, було знайдено і обстежено затонуле судно з V ст. до н.е експедицією під керівництвом Сергія Воронова та Олександра Смирнова на глибині 6 м. Роботи були обмежені фотофік-

сацією і підйомом декількох екземплярів амфорної тари (Рис. 3, 4), результати на жаль досі не опубліковані.

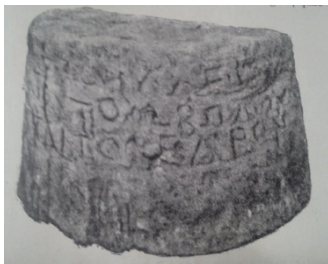


Рисунок 2. – Кам'яний вівтар циліндричної форми з грецьким написом присвячений Ахіллу, що датується IV – початком III ст. до н.е. (надано за IOSPE, I, № 327, р. 275).



Рисунок 3. – О. Смирнов з виявленням в 2012 р амфорою на борту судна (фото О. Смирнов).



Рисунок 4. – Горло однієї з виявлених в 2012 р амфор in situ на дні (фото О. Смирнов).

Дослідження.

У польовому сезоні 2018 р археологічні розвідки були зосереджені в акваторії біля північно-західного краю Кінбурнської коси з боку Тендрівської затоки в Чорному морі. Крім візуальних розвідок, групами аквалангістів по два – чотири людини методом смугового пошуку, були проведені непроникаючі розвідки дна акваторії. Використовувалися, ехолот і гідролокатор бокового огляду. В окремих пунктах, в місцях виявлення керамічного матеріалу, проводилася його фіксація за допомогою буйків і GPS-навігатора. В результаті проведених досліджень вдалося скласти батиметричну мапу північно-західній частині коси. У початковий період дослідження обмежилися картографування і фотофіксацією підйомного матеріалу. Були виявлені і зафіксовані підводні об'єкти для подальших досліджень, в ході цих робіт було виявлено і розчищених затонуле античне вітрильне судно кінця IV початку III ст. до н.е. (Рис. 5).

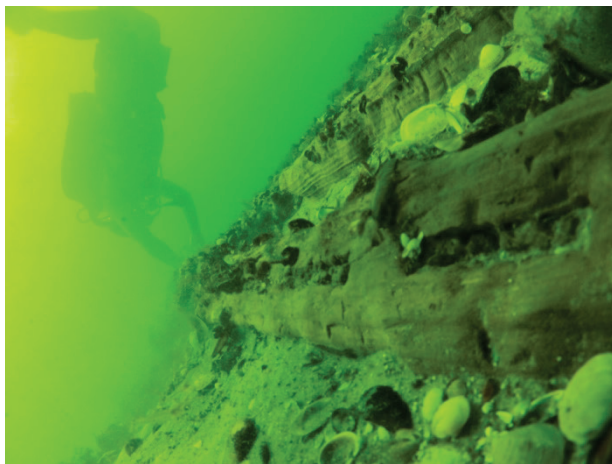


Рисунок 5. – Дерев'яний корпус затонулого судна
in situ на дні (фото В. Герасімов).

Було виділено і зафіксовано місце корабельної аварії (Рис. 6). Дана ділянка знаходиться в декількох кілометрах на схід від краю коси з морської сторони, на видаленні від берега в 700 м і являє собою песчане дно з перепадом глибини від 3 м 70 см до 4 м і з ухилом близько 175° , на глибинах в 4-5 м відзначений плавний перепад глибин до 6 м, далі починається плоске піщане дно, яке плавно знижується до глибини 10 м на північний захід акваторія обмежена виступаючим в море мисом, краєм коси, небезпечним в навігаційному відношенні. Плошадь обстеження ділянки донної поверхні в місці аварії корабля складала 900 кв. м. (30х30 м). В ході візуальних розвідок даної ділянки було виявлено підйомний матеріал як на березі, так і під водою.

Вдалося виявити добре збережений фрагмент корпусу судна довжиною в 9,45 м in situ з баластним камінням, керамічний матеріал з вантажу (Рис. 7, 8, 9), свинцеву обшивку і елементи конструкції античного вітрильника. Після розчищення збереженої частини корпусу корабля від піску за допомогою гідроежектора, була проведена його відео і фото документація. В результаті даних робіт була зроблена масштабна фотомозаїка об'єкта (Рис. 10).



Рисунок 6. – Сонограма виявленого судна кінця IV – початку III ст. до н.е. (архів експедиції).

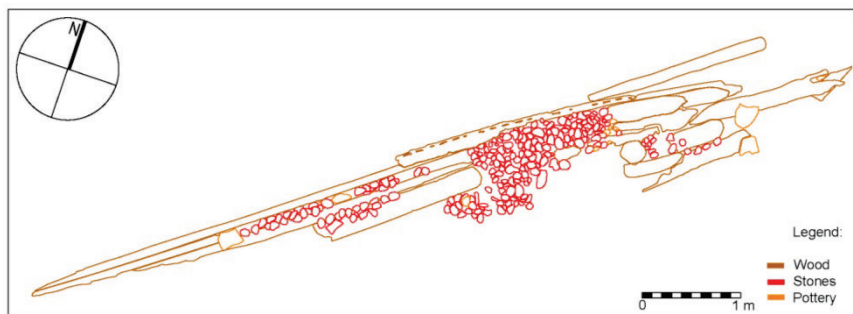


Рисунок 7. – Рисунок затонулого античного судна in situ (автор П. Прейс).



Рисунок 8. – Схема затонулого античного судна in situ (автор П. Прейс).



Рисунок 9. – План затонулого античного судна in situ (автор П. Прейс).



Рисунок 10. – Фотомозаїка (фотограметрія) об'єкту in situ після розчищення від піску (обробка П. Прейс).

Було зроблено його модель 3D. Стан дерев'яного корпусу судна відмінне, збереглися технологічні отвори, з'єднання, бронзові і залізні цвяхи. Обидва варіанти викладено в вільний доступ в інтернеті (Рис. 11, 12).

– <https://sketchfab.com/models/b95d5a4e07884c53b38f5d80bfda51be?fbclid=IwAR2lVTPyUtAnEpdsN0KNVUiDOZS-UbuR290m6n6epEiPZNrzpWya4gFpvgw>



Рисунок 11. – 3D модель залишків античного судна (автор П. Прайс).

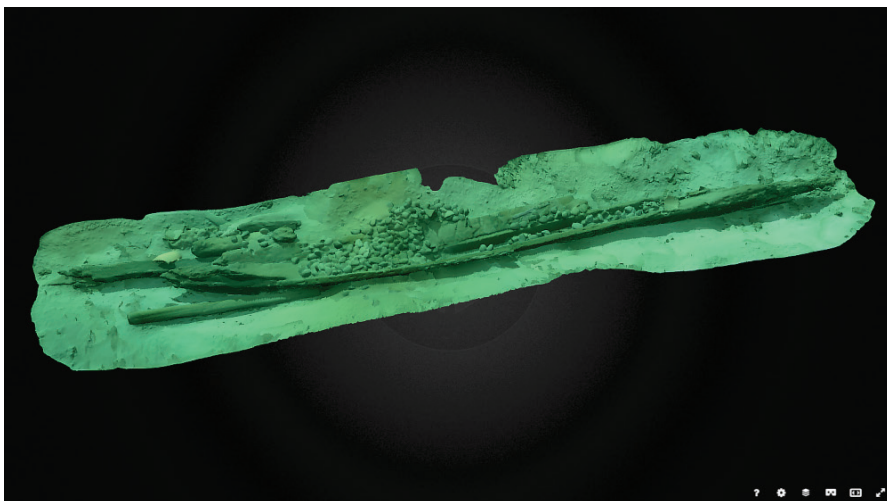


Рисунок 12. – 3D модель залишків античного судна (автор Д. Гріцина).

– https://sketchfab.com/models/a4781401bdf34d23bf35a3f50958e79e?fbclid=IwAR3-xHQ1CYXGgpj7dRMiH1CL_zyTWIMK4AKH2-notNeuXRf4Z0Yjskl0S3Q

Станом на 17.02. 2019 року.

Баласт заповнюючій кільову частину днища представлений дрібною окатоною галькою круглих і овальних форм, розміром від 9 до 15 см (Рис. 13, 14), Подібна галька добре знайома авторам з гірських районів чорноморського узбережжя Криму і Кавказу. Для більш точного геологічного аналізу було відібрано декілька примірників, що можливо дозволить встановити більш вузькі географічні рамки місця будівництва судна. Надалі більш точну інформацію для датування і визначення місця походження деревини для дерев'яних частин корабля зможе дати Дендрохронологічний аналіз. Після закінчення документування об'єкт був законсервований, повністю засипаний піском, в уникненні руйнівних процесів корпусу судна.



Рисунок 13. – Баластне каміння заповнююче кільову частину днища судна представлено дрібною окатоною галькою in situ (фото В. Герасімов).

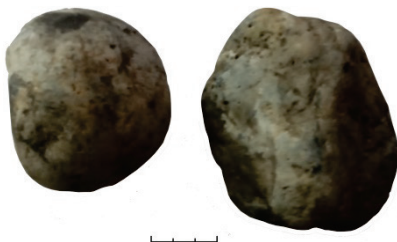


Рисунок 14. – Баластне каміння (фото О. Смирнов).

Відкриття такого об'єкта на невеликій глибині є рідкісною удачею. В акваторії України до сих пір було виявлено і досліджено лише 3 – 4 затонулих судна такого віку. Це корабельна аварія кінця IV – початку III ст. до н.е. виявлена біля озера Донузлав на глибині 4-5 м в Криму і обстежена В.Д. Блаватським і Б.Г. Петерсом в 1964-1965 роках минулого століття [5]. Петерс приводить реконструкцію торгового судна кінця IV – початку III ст. до н.е. виявленого у озера Донузлав в монографії «Морська справа в античних державах Північного Причорномор'я» [6] (Рис. 15). У 2011 р в акваторії острова Зміїний, на глибині 34 м одеською підводно-археологічною експедицією під керівництвом Олександра Терещенка було виявлено судно IV – III ст. до н.е. з добре збереженими вантажем. Роботи на об'єкті проводилися з 2011 по 2015 рр і знайшли відображення в публікаціях [7].

За межами України кораблів аналогічного періоду відомо також не багато. Найбільш вивченими є: – корабельна аварія III в. до н. е. у Гран-Конглюе, Франція; корабельна аварія IV ст. до н.е. у Мазотос, о. Кіпр [8]; корабельна аварія кінця V – початку IV ст. до н.е. у Портічело, Італія [9]; корабельна аварія кінця V ст. до н.е. у Алоннесос, Греція [10]; корабельна аварія кінця IV – початку III ст. до н.е. у Кіренії о. Кіпр [11]. В акваторії Чорного моря судно початку III ст. до н.е. було виявлено та досліджено біля міста Ереґлі в Туречині (в античності Гераклея Понтійська) в 2011 році глибоководною експедицією науководослідного судна «Наутілус» під керівництвом М. Бреннана на глибині 101 м [12].

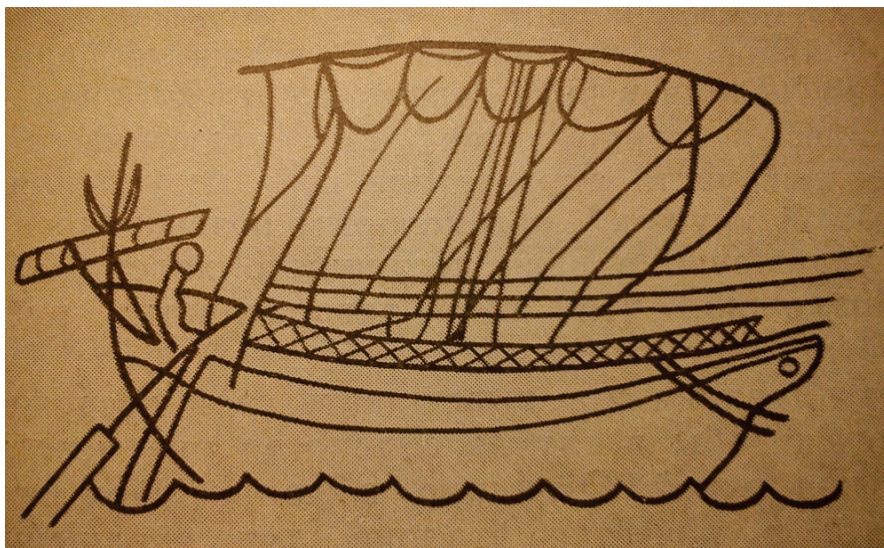


Рисунок 15. – Реконструкцію торгівельного судна кінця IV – початку III ст. до н.е. виявленого у озера Донузлав з монографії «Морська справа в античних державах Північного Причорномор'я» (надано за Б.Г. Петерс).

Дана реконструкція майже ідентична реконструкції «Кіренійського» торгового судна, яке вдалося відтворити завдяки тому що його корпус зберігся на 75% . Була навіть побудована точна копія корабля яка отримала назву «Кіренія 2», на ніому відбулось кілька плавань (Рис. 16).

Більшість відомих торгових кораблів даного періоду мали невеликі розміри, вони відображені в таблиці наведеної в публікації Дена Девіса і співавторів, становили від 12 до 17 м [13]. Можна припустити, що відкрите в 2018 році біля Кінбурнської коси античне торгове судно могло виглядати подібно, але більш детальну інформацію дадуть подальші дослідження об'єкта.



Рисунок 16. – Реконструкції «Кіренійського» торговельного судна кінця IV початку III ст. до н.е. «Кіренія 2» (з вільного інтернету).

Таблиця № 1 (дано по [13, р. 72]).

Судно	Датування	Довжина	Джерело
Текташ Бурну	440-425 рр. до н.е.	12-14 м	Van Duivenvoorde, 2014
Портічелло	425-400 рр. до н.е.	16-17 м	Eiseman & Ridgway, 1987
Маяган Міхаель	ок. 400 р. до н.е.	12 м	Kahanov, 2003
Кренія	300-290 рр. до н.е.	14 м	Steffy, 1985
Ереглі Е	300-270 рр. до н.е.	ок. 15 м	Davis et al, 2018

Корабельні цвяхи бронзові (?) і залізні виявлені як в корпусі судна in situ, так і окремо уздовж нього під час розчищення гідроелектором

(Рис. 17). Довжина бронзового становить 12 см, залізних 9-10 см. Свинцева обшивка корпусу судна представлена двома пластинами розмірами 22 x 12 см і 19 x 13 см приблизно вони зігнуті і мають рвані обриси, товщина їх близько 1 – 2 мм. (Рис. 18). Наявність у даного корабля свинцевою обшивки говорить про високий рівень його конструкції і його великої вантажопідйомності. Подібна свинцева обшивка була виявлена на судні IV – III ст. до н.е. у озера Донузлав, вантажопідйомність якого В.Д. Блаватский визначив в 3000 амфор, що говорить про його досить великих розмірах. На місці катастрофи великого торгового корабля III в до н.е. у Гран-Конглюе (Франція) була також знайдена свинцева обшивка [14] і на думку Ж. І. Кусто тільки вона важила 20 т [15]. На судні IV- III ст. до н.е. затонулому біля о. Зміїний теж була виявлена свинцева пластина з обшивки розміром 61x21 см, товщиною 0,1 см [16]. А.І. Терещенко визначив розміри судна в 22,0x6 м, а його вантажопідйомність у не менше ніж 3000 амфор або приблизно 100 т вантажу брутто. Таким чином можна припустити що виявлене біля Кінбурнської коси античне судно спочатку могло мати досить великі розміри. Дерев'яні елементи конструкції судна підняті в 2018 р представлені 2 фрагментами. Перший фрагмент являє собою швидше за все частину кільової конструкції, другий швидше за все є елементом кріплення (Рис. 19).



Рисунок 17. – Корабельні цвяхи
(фото О.Смирнов).



Рисунок 18. – Свинцева обшивка
корпусу судна (фото О. Смирнов).



Рисунок 19. – Дерев'яні елементи конструкції (фото О. Смирнов).

Крім того збереглася нижня кільова частина і борта судна розміром 9,45 x 1.28 м, саме цю частину затонулого корабля в наступних сезонах планується вивчити і підняти для подальшої консервації та музеєфікації.

Амфори представлені цілою амforoю Колхидського типу (Рис. 20, 21), горлами, ручками та фрагментами стінок амфор. Примітки – Основна тенденція на ринку Північного Причорномор'я в кінці IV-III ст. до н.е. Це зменшення кількості амфор основного типу попереднього періоду Гераклії Понтійської та Фасоського імпорту. На провідні позиції виходять тавровані амфори Синопи та Херсонесу, крім того продовжується імпорт в амфорній тарі типу Пепарет, хіоських «колпачкових» амфор. З'являються Коринфські амфори та ранні варіанти амфор Родосу та Кніду.

Колхидські амфори – для всіх типів амфор характерна глина темно – коричневого кольору, зі змістом слюди, чорні частки піроксену та кварцового піску. II тип Колхидських амфор випускався з кінця IV ст. до н.е. і майже все III ст. до н.е. [17, 18].

Перша група амфор – це амфори типу Косс, датується 4-3 століттям до нашої ери (Рис. 22, 23). Косські амфори – масова поява коської тари в Північно – Причорноморський регіон постежується з кінця IV ст. до н.е., у другій чверті III ст. до н.е. її морфологія змінюється – це великі амфори сосуди з коротким горлом, ніжка кубореподібна з валіком, ручки двоствольчаті. Глина відрізняється рожевим відтінком з включенням слюди. Поверхня амфор добре згладжена та вкрита світло – зеленою обмазкою [19, 20].

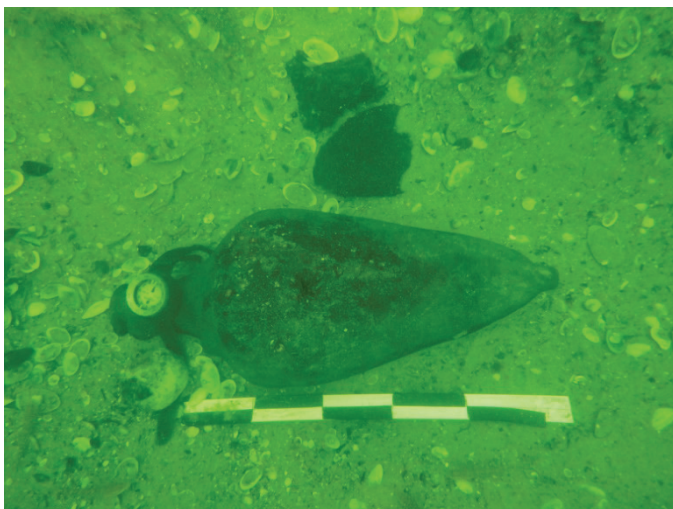


Рисунок 20. – Ціла амфора Колхідського типу in situ на дні
(фото В. Герасімов).



Рисунок 21. – Ціла амфора
Колхідського типу
(фото О. Смірнов).



Рисунок 22. – Горла та ручки
Косської амфори IV-III ст. до н.е.
фрагмент (фото О. Смирнов).



Рисунок 23. – Фрагмент Косської амфори IV-III ст. до н.е.
(фото О. Смирнов).

До другої можна віднести амфори типу Sinora, що датуються другою половиною IV ст. до н.е. – початком 3 ст. Більшість матеріалу, виявленого під час очищення корпусу судна, представлено стілками амфор (Рис. 24). Синопські амфори – відокремлюються від іншої тари завдяки характерному глиняному тісту (включає в себе пероксид та пісок), морфологія амфор дуже консервативна, типологічна схема для Північного Причорномор'я розроблена Монаховим С.Ю. [21, 22, 23]. Виявлені в 2018 р екземпляри відносяться до II та III типу синопських амфор – характеризуються циліндричним чи розширеним к низу горлом, валикоподібним вінцем та циліндричною ніжкою з гладкою підошвою. II тип розвиваються на протязі з другої чверті IV ст. до н.е. – по третю чверть III ст. до н.е. III тип характерний для рубежу IV-III ст. до н.е. відрізняється конічною формою ніжки, більш тонкі ручки, поставлені не вертикально, а лініями, що сходять.

Виявлені в 2018 році керамічні вироби представлені 2-ма фрагментами сіролощених мисок на кільцевому піддоні, горловиною коричневолакового горщика та вінцем горщика (Рис. 25, 26).



Рисунок 24. – Фрагмент амфори типу Sinopora з графіті, друга половина IV ст. до н.е. – початок III ст. до н.е. (фото О. Смирнов).



Рисунок 25. – Фрагмент сіролощеної миски на кільцевому піддоні (фото О. Смирнов).



Рисунок 26. – Горловина коричневолакового горщика (фото О. Смирнов).

Виявлена також ціла кратероподібна аттична чорнолакова посудина (Рис. 27). Вона могла бути використана як резервуар для води або для вина. Посудина прикрашена орнаментами та поздовжніми канавками. Збереглися два приліпи ручок з боків. Найбільш цікавою є скульптурна деталь

web-site: conference.nuos.edu.ua | email: conference@nuos.edu.ua; tel (+380512) 709444; 709105|

ної голови бика, яка розташована поблизу шийки лійки (Рис. 28). Аналогій досі не знайдено. Можливо, цей посуд мав ритуальне призначення. Робота над визначенням його призначення все ще триває.



Рисунок 27. – Кратероподібна аттична чорнолакова посудина (фото О. Смирнов).



Рисунок 28. – Скульптурна деталь голови бика розташована поблизу шийки лійки посудини (фото О. Смирнов).

В 2019 році підводні археологічні роботи на об'єкті було продовжено. Сам корпус затонулого вітрільника було вирішено не розчищати і залишити законсервованим під варствою піска. Завдяч уточнення характеру грузу судна, за допомогою полукесонів виготовлених з дерев'яної опалубки, були заложені два розвідувальних шурфи розміром 2 x 2 м на кінцях об'єкту з двох сторін з південно-західного (W 2) та північно-східного (E 1) його країв (Рис. 29).

Виявлений археологічний матеріал в шурфі W – 2 представлено дрібними фрагментами амфор та баластним камінням з заповнення кільової частини судна. В шурфі E – 1 було виявлено великі фрагменти амфornoї тари Косського та Синопського типів, зокрема горла та стінки, деякі зі штампами на ручках. На одному горлі заховалися залишки смоли від закупорки у вигляді підтеків (Рис. 30). Також було виявлено археологічно цілу посудину для розливання вина типу Лагинос, датовану кінцем IV – початком III ст. до н.е. (Рис. 31).

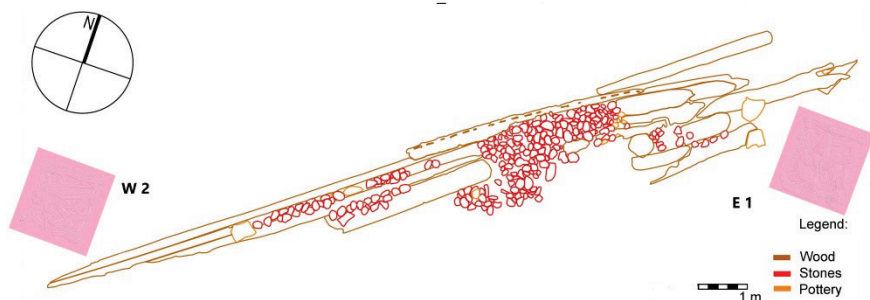


Рисунок 29. – Шурфи 2019 р. навколо об'єкту (з архіву ЧМПІАЕ ІА НАНУ).



Рисунок 30. – Фрагмент горла Косської амфори з залишками смоли від закупорки у вигляді підтеків, IV – III ст. до н.е. (фото О. Смирнов).



Рисунок 31. – Посуїдина типу Лагінос друга половина IV ст. до н.е. – початок III ст. до н.е. (фото О. Смирнов).

Висновки.

В результаті проведених досліджень в акваторії Кінбурнської коси вдалося скласти батиметричну карту донної поверхні та виявити місце корабельної аварії античного часу.

Слід зазначити, що відкриті в 2018 р в акваторії Кінбурнської коси затонуле античне судно, можна попередньо датувати кінцем IV – почат-

ком III ст. до н.е., на підставі керамічного матеріалу, виявленого в ході розчищення збереженої частини корпусу. Розвідувальні шурфи в безпосередній близькості від корпусу судна показали наявність кераміки під шаром піску і спресованих черепашок. Це дає підстави вважати, що більша частина вантажу, що перевозилась знаходиться під донними відкладеннями на відстані до 10-15 м навколо судна, а можливо і на більшій площі. Невелика глибина, близькість берегової лінії разом з приборами і штормами сприяли тому що частини самого судна і його вантажу розтягнуло на велику площу і заміло піском. Більш чіткі межі місця аварії корабля дадуть подальші планомірні розкопки виявленого об'єкту.

Збережена частина дерев'яного корпусу судна має вражаючі розміри (9,45 x 1,28 x?) І є найбільш цікавою для подальших досліджень. Збережені технологічні отвори, цвяхи і сліди обробки дозволять в подальшому пролити світло на техніку суднобудування в античності і встановити тип затонулого судна. Дендрохронологічний аналіз допоможе дати більш вузьке датування деревини і можливе місце його побудови. Наявність великої кількості баластних каменів дозволяє сподіватися на геологічний аналіз і можливість встановити район їх походження, що також допоможе локалізації місця будівництва затонулого судна. У перспективі планується підйом збереженої дерев'яної частини об'єкта, її консервація і реставрація для створення окремої експозиції в музеї міста Миколаєва.

Роботи у польовому сезоні 2019 р. підтвердили що генеральний груз затонулого судна складався з амфор Косського та Сінопського типів.

У наступних сезонах роботи на об'єкті планується продовжити. При його подальшому систематичному вивченні може бути отримана комплексна інформація про саму пам'ятку, а також можливо нові дані що до античної навігації в Північно-Західному Причорномор'ї.

Список літератури:

1. Лоция Черного моря (1987). Министерство обороны Союза ССР; Главное управление навигации и океанографии. Москва. с.158
2. Кривульченко А.І. (2016) Кінбурн: ландшафти, сучасний стан та значення. – Кропивницький: Центральноукраїнське вид-во, с.368
3. IOSPE – Latyshev B. V. Hecates Lucus № 327, Inscriptiones antiquae Orae Septentionalis Ponti Euxini I, inscriptions Tyrae, OLBIAE, Chersonesi Tauricae, Aliorum Locorum a Danubio Usque ad Regnum Bosporanum, Petrograd, 1916, s. 274-276.

4. Білецький А.О. (1993) Геродот. Історія в дев'яти книгах, Київ. IV, 76, 4
5. Блаватский В.Д., Петерс Б.Г. (1969) Кораблекрушение конца IV – начала III вв. до н.е. около Донузлава, „Советская археология“ 3, Москва, сс. 151-158.
6. Петерс Б.Г. (1982) Морское дело в античных государствах Северного Причерноморья, Москва.
7. Tereshchenko O.I. (2013) Underwater Archaeological Exploration of an Ancient Greek Merchant Ship Near the Zmiinyi Island in the Black Sea (2011 Field Season), “Ukrainian Archaeology”, Kyiv. Pp. 44-56
8. Demesticha S. (2011) The 4th –Century-BC Mazotos Shipwreck, Cyprus: a preliminary report, “The International Journal of Nautical Archaeology” 40.1, Oxford-Malden. Pp. 39-59
9. Eiseman C.J., Ridgway B.S. (1987) The Porticello Shipwreck: A Mediterranean Merchant Vessel of 415-385 B.C., Texas. Pp. 3-126
10. Elpida H. (1996) Underwater Excavations of a Late Fifth Century Merchant Ship at Alonnesos, Greece: the 1991-1993 Seasons, “Bulletin de correspondance helenique” Vol. 120/2. Pp. 561-593
11. Katzev M. (1969) The Kyrenia Shipwreck, “Expedition” Vol. 11.2. Pp. 55-59
12. Brennan M.L., Davis D., Ballard R.D., Trembanis A.C., Vaughn J.I., Duman M., Du Val C. (2016) Quantification of bottom trawl fishing damage to ancient shipwreck sites, “Marine Geology” 371, Elsevier. Pp. 83-87
13. Davis D., Brennan M.L., Opait A., Beatrice J.S. (2018) The Eregli E Shipwreck, Turkey: an early Hellenistic merchant ship in the Black Sea, “The International Journal of Nautical Archaeology” 47.1, Oxford-Malden. Pp. 57-80
14. Benoit F. (1961) A L'epave du Grand Conglue a Marseille. XIV Supplement a “Gallia”, Paris, p.169
15. Cousteau J.Y. (1954) Fish Men Discover a 2200-year-old Greek Ship, “The National Geographic Magazine” 1. p.16
16. Tereshchenko O.I. (2013) Ancient Greek Merchant Ship Zmiinyi-Patrocles (Cargo Composition), “Ukrainian Archaeology”, Kyiv. Pp.57-69
17. Цецхладзе Г.Р. (1992) Производство амфорной тары в Колхиде.//Греческие амфоры. Саратов сс. 90-110.

18. Созник В.В. Цецхладзе Г.Р. (1991) Колхидские амфоры эллинистического периода в Херсонесе (К вопросу об экономических связях Колхиды и Херсонеса). // ВДИ № 2 (197) Москва. сс. 61-67.

19. Hoghammar K. (2004) The Hellenistic Polis of Kos. State, Economy and Culture, Uppsala. Pp. 155-158

20. Туровский Е.Я. (2001) Древние амфоры в Северном Причерноморье. Справочник-определитель. Киев. с.109

21. Монахов С.Ю. (1992) Динамика форм и стандартов синопских амфор. // Греческие амфоры. Саратов. с.163-204

22. Монахов С.Ю. (1999) Греческие амфоры в Причерноморье. Комплексы керамической тары VII – II веков до н.э. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та. с.680

23. Монахов С.Ю. (2003) Греческие амфоры в Причерноморье. Типология амфор ведущих центров-экспортеров товаров в керамической таре: Каталог-определитель. – Москва; Саратов: «Киммериды»; изд-во Саратов. ун-та. с.352

УДК 904.5

РОБОТИ НА АНТИЧНОМУ ВІТРИЛЬНИКУ В АКВАТОРІЇ КІНБУРСЬКОЇ КОСИ

Автори: Герасімов В.Є., Інститут археології НАН України, м. Київ; Смирнов О.І., Миколаївський національний університет імені В.О.Сухомлинського, м. Миколаїв, Інститут археології НАН України

В 2018 р. Чорноморською міжнародною підводною археологічною експедицією ІА НАН України (далі – ЧМПАЕ) були проведені підводні розвідки з метою виявлення нових археологічних пам'яток в акваторії о. Тендрівської коси та Кінбурнської коси. Також проводилась батиметрична зйомка поверхні дна.

Результатом досліджень стала також проведена батиметрична зйомка акваторії прибережних районів. Роботи на об'єктах обмежувались розвідками, проспекціями поверхні дна за допомогою гідролокатора бічного огляду (ГБО) та фото і відеозйомкою.

В акваторії Кінбурнської коси виявлено античне вітрильне судно кінця IV початку III ст. до н.е. Виявлено добре збережений корпус судна довжиною в 9,45 м з баластним камінням, та керамічний матеріал з вантажу, свинцеву обшивку та елементи конструкції античного вітрильника [1].

У 2019 р. підводні розвідкові роботи були продовжені на чорноморському шельфі Північно-Західного Причорномор'я, в межах Миколаївської області, в акваторії північно-західної частини о. Березань, прибережних районах акваторії Кінбурнської коси та в Дніпровсько-Бузькому лимані в затопленій частині античного міста Ольвія.

Продовжена робота по вивченню вітрильника. Збереглася нижня кильова частина і борті судна розмірами 9,45х1,28 м (рис. 1). Саме цю частину затонулого корабля в наступних сезонах планується дослідити та підняти для подальшої консервації та музеєфікації.

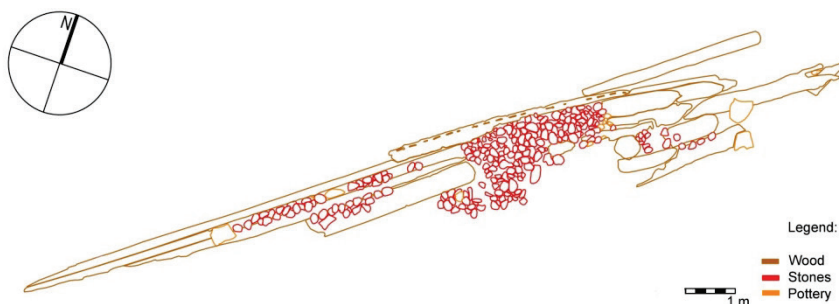


Рис. 1. Малюнок збереженої частини античного судна,
Кінбурнська коса (П. Прейс).

Сам корпус, законсервований в попередньому сезоні, не розкопувався. Були розбиті два шурфи розміром 2х2 м поблизу збережених країв корпусу судна з використанням полукесонів з дерев'яною опалубкою для запобігання осипання ґрунту у розкоп.

Виявлений матеріал представлено баластним камінням та керамікою – фрагментами амфор з генерального вантажу корабля та інвентарю корабельної команди.

Перша група амфор представлена амфорами типу Косс, датується IV – III ст. до н. е. Масова поява коської амфорної тари в Північно-Причорноморському регіоні фіксується з кінця IV ст. до н.е. До другої групи можна віднести амфори типу Sinopa, що датуються другою половиною IV – початком III ст. до н.е.[2,3]

Більша частина матеріалу, виявленого під час очищення корпусу судна, представлено стінками амфор. Синопські амфори виокремлюються від іншої тари завдяки характерному глиняному тісту (яке включає в себе піроксид та пісок). Морфологія амфор дуже консервативна, типологічна схема для Північного Причорномор'я, розроблена С.Ю. Монаховим. Виявлені в 2019 р. екземпляри відносяться до II та III типів синопських амфор – з характерними для них циліндричним чи розширеним донизу горлом, валикоподібними вінцями та циліндричною ніжкою з гладкою підошвою. II тип розвивається впродовж другої чверті IV – третьої чверті III ст. до н.е. III тип, характерний для межі IV–III ст. до н.е., відрізняється конічною формою ніжки, тоншими ручками, поставленими не вертикально а лініями, що сходяться.

Виявлені в 2019 р. керамічні вироби представлені археологічно цілою формою типу Лагінос на кільцевому піддоні. Такі глечі скоріше за все використовувалися командою для зберігання вина[4,5].

Роботи у 2020 та 2021 роках були продовжені але у зв'язку з пандемією носили моніторинговий характер. Огляд місця та не допущення проникнення до об'єкту грабіжників. На даний час керівництво експедиції проводить консультації та перемовини в Миколаївському підприємством НКА-ТЕРА про спільні роботи та підйом унікального об'єкту у 2022 році.

Подальші систематичні наукові дослідження можуть допомогти отримати комплексну інформацію як про саму пам'ятку, та нові важливі свідчення щодо античної навігації в Північно-Західному Причорномор'ї.

Список літератури:

1. ГЕРАСИМОВ В., РЕЙДА Р., СМІРНОВ О. Дослідження Чорноморської міжнародної археологічної експедиції ІА НАН України. // Археологічні дослідження в Україні 2018 р. – К.: ІА НАН України, 2020. – С. 212-214.

2. Vyacheslav Gerasimov, Roman Reyda, Oleksandr Smirnov. Forschungen der internationalen Schwarzmeer-Unterwasserarchaologischen Expedition im versunkenen Teil der antikes Stadt Olbia auf der Kinburn Nehrung im Jahre 2019. //IN POSEIDONS REICH XXV, DEGUWA. – Frankfurt am Main, 2020. – P. 18.

3. Vyacheslav Gerasimov, Roman Reyda, Oleksandr Smyrnov, Piotr Prejs. The Ancient Ship Wreck of the 4 th\ Early 3 th Century BC at Kin-

burn Spit, Black Sea (Ukraine). // SKYLLIS, Deutsche Gesellschaft zur Forderung der Unterwasserarchaologie e.V. №18 Jahrgang 2018 (Heft 2 – 2020). – P. 186-196.

4. Герасимов В., Loizou E., Смирнов О. Підводні дослідження античних об'єктів на Миколаївщині у 2019 році. // FORUM OLBICUM III: до 70-річчя з дня народження В.В.Крапівіної, 4-6 травня 2020 р. Миколаїв, НДЦ «Лукомор'є», 2020. – С. 95-98.

5. ГЕРАСИМОВ, В., РЕЙДА, Р., СМІРНОВ, О. Чорноморська міжнародна підводна археологічна експедиція. // Археологічні дослідження в Україні 2019 р. – К.: ІА НАН України, 2020. – С. 181-185.

ДОСЛІДЖЕННЯ АКВАТОРІЇ ДНІПРА МЕТОДАМИ ГБО (ГІДРОЛОКАТОРАМИ БІЧНОГО ОГЛЯДУ) ПРОТЯГОМ 2019-2021 РР.

***Автор:** Кобець В.Д., Київський національний університет імені Тараса Шевченка, м. Київ, Україна*

В статті відображено наукову діяльність Центру підводної археології кафедри археології та музеєзнавства історичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Проаналізовано експедиції, що проводилися протягом останніх трьох років підводними археологами Центру.

The activities of the Centre for Underwater Archaeology at the Department of Archaeology and Museum Studies Faculty of History Taras Shevchenko National University of Kyiv are described in the science work. The expeditions held during three years by the underwater archaeologists from the Centre are reviewed in the article.

Гідролокатори бічного огляду (ГБО) виявилися найбільш ефективними приладами для проведення підводних пошуків та дослідницьких робіт. Вони дозволяють обстежити значні ділянки донної поверхні незалежно від прозорості води та однаково добре працюють як у прісній так і солоній воді й можуть використовуватися на озерах, річках, водосховищах, затоках та відкритих морях.

Головна перевага застосування такого обладнання – отримання в реальному часі високоякісного акустичного зображення донної поверхні та нашарувань (при цьому якість наближається до фотографічної чіткості) незалежно від типу водойми.

Застосування гідролокатора Lowrens HDS 7 методиками сканування підводного середовища датчиками бічного сканування і структурного сканера на Дніпродзержинському, Кременчуцькому водосховищах сприяли вирішенню таких завдань:

- моніторинг об'єктів підводного середовища з вказівкою точних координат, лінійних розмірів, розташування по сторонах світу, глибини виявлення і орієнтовного ступені замулення під наносами донних відкладень;
- зйомка рельєфу дна – детальна та площинна з відображенням результатів в заданому масштабі і проекції у вигляді планів або планшетів глибин (ізобат).
- побудова карти підводного рельєфу донної поверхні у вигляді ізобат з точністю позначення глибин до 0.1м., кольорової гамми градації глибин, об'ємної моделі рельєфу дна;
- пошук і обстеження затонулих об'єктів; Перед виходом на ділянку прокладалися маршрути треків обраного району, ширина, довжина профілів на підставі даних глибин акваторії Дніпра.

Проводилось сканування акваторії по наміченим та позначеним на екрані приладу профілям, враховуючи швидкості течії, вітру під час руху плавзасобу по водоймі. Одночасно з рухом над визначними об'єктами проставлялися марковані точки з координатами, азимутом руху, глибиною від поверхні та призначалися номери або легенди тих ділянок, які призначалися для подальшого вивчення їхнього розташування, вигляду, розмірів під час подальших запланованих занурень. Отримані в записах на картки пам'яті ехограми детально вивчалися та інтерпретувалися за допомогою комп'ютерних програм Sonar Log Viewer та Dr Depth 4.

На цих акваторіях Дніпра періодично обстежувалися такі ділянки: Затока р.Сула (с. Погребняки, с. Липове).

Жовнін-Градїжск (Кременчуцьке водосховище)

Район Кременчука з островами в околицях міста (Дніпродзержинське водосховище).

Список літератури:

1. Кобець В.Д. Короткий звіт про проведення досліджень в акваторіях р. Дніпро від м. Києва до м. Дніпропетровськ (Канівського, Кременчуцького, Дніпродзержинського водосховищ) // Дозвіл №22-088-П/13 від 12 травня 2013р. Міністерство культури України.

2. Кобець В.Д. Короткий звіт про проведення досліджень в акваторіях р. Дніпро (разом з притоками) в межах київської області. // Дозвіл №22-074-П/14 від 16 квітня 2014р. Міністерство культури України.

3. Кобець В.Д. Короткий звіт про проведення досліджень в акваторіях р. Дніпро (разом з притоками) в межах Київської області – виявлення історичних об’єктів часів Другої світової війни. // Дозвіл №22-050-П/15 від 30 квітня 2015р. Міністерство культури України.

УДК 902.034

**ПОДВОДНО-АРХЕОЛОГИЧЕСКИЕ ЭКСПЕДИЦИИ
КИЕВСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМЕНИ
ТАРАСА ШЕВЧЕНКО В СЕВЕРО-ЗАПАДНОМ
ПРИЧЕРНОМОРЬЕ В 2010-2014 ГОДАХ**

***Автори:** Морозова Я.И., Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, г. Киев, Украина; Зеленко С.М., к.и.н., Федерация подводного спорта и подводной деятельности Украины, г. Киев, Украина*

С начала 80-х годов XX века студенты и преподаватели университета стали принимать участие в подводных археологических исследованиях проводимых Институтом археологии АН на шельфе Черного моря и на внутренних водоемах (водохранилища, реки, озера) на территории Украины. Полученный опыт позволил в 1990 году создать в университете «Центр подводной археологии» и проводить свои экспедиции по научным темам исторического факультета.

Исследования в Северо-Западном Причерноморье на отрезке побережье от Южного Буга до Дуная проводились в 2010 – 2014 годах. Было создано 2 экспедиции, одна от кафедры древнего мира и средних веков, вторая от кафедры археологии и музееведения.

Исследования экспедиции от кафедры древнего мира под руководством аспиранта В. Вахонеева проводились в акватории Ольвии – крупного культурного и экономического центра эллинистического мира основанного во второй четверти VI века до н.э. выходцами из Милета. На этом античном памятнике было проведено визуальное обследование и шурфовка в

разных частях акватории затопленной части Ольвийского городища. В южной части Нижнего города линия древнего берега проходит по изобате 4-4,5 м и находилась на расстоянии около 170 м от современного уреза воды, в северной части на расстоянии почти до 300 м. Полученные данные позволили археологам сделать заключение, что затопленная часть Ольвии полностью разрушена. Отсутствуют крупные каменные завалы параллельные берегу, которые могли бы показать месторасположение эллинистической стены города (стены Протогена). Это указывает, что город со стороны лимана не имел оборонительных сооружений. Серия шурфов в месте большого количества средних и мелких привозных камней (мрамор и кварцит) позволяет предположить, что здесь была балластная свалки для кораблей приплывавших в город. Из шурфов заложенных экспедицией был собран археологический материал от периода поздней архаики до римского времени. По окончании работ длившихся несколько лет (2010-2012 гг.) находки были сданы в заповедник «Ольвия» [1; 2; 3].



Рис-1. 2012 год. Участники экспедиции на исследовательском судне в районе п.Рыбаковка Очаковского района



Рис-2. 2013 год. Кинбурская коса.
Находка турецкого поливного горшка

Вторая экспедиция университета, которая работала в этом регионе на исследовательском судне была от кафедры археологии и музееведения. Основные задачи исследований этой экспедиции:

- Создание базы данных и проведение сравнительного анализа архивных и картографических документов с современной информацией о наличии подводных исторических объектах на маршруте плавания кораблей XVIII в. из верфи г. Херсона в сторону мыса Тарханкут, с использованием современных поисковых технологий. Обобщение полученных результатов, составление карт-схем районов исследований с памятниками подводного культурного наследия.

- Разведка (поисковые работы) с помощью гидролокатора бокового обзора (ГБО) «Sportscan» на шельфе Черноморского побережья Херсонской, Николаевской и Одесской областей объектов подводного культурного наследия для их последующей паспортизации.

- Апробация методики работ с различными видами оборудования применяемого при исследованиях в подводной археологии (подводные скутера, помпы для размыва дна, лоаторы бокового обзора и т.д.).

– Обеспечение профессионального обучения студентов-археологов на новых образцах поисковой техники и оборудования, участие в компьютерной обработке данных в научной лаборатории университета.

– Расширение сотрудничества с Научным комитетом Федерации подводного спорта и подводной деятельности Украины в сфере организации исследовательских экспедиции с привлечением волонтеров дайверов.

– Организация общественного контроля и проведение экспертизы деятельности государственных органов власти в сфере охраны подводного культурного наследия.

Анализ данных полученных в ходе трех лет (2012-2014 гг.) исследований этой экспедицией позволяет подводным археологам утверждать, что изучение шельфа Черного моря в районе Херсонской, Николаевской и Одесской областей довольно перспективно для исторической науки и для развития сети музеев на морскую тематику, что соответственно увеличит приток туристов в этот регион [3; 4; 5].

Список літератури:

1. Вахонєєв В.В. Підводно-археологічні дослідження в Ольвії // Археологічні дослідження в Україні – 2010. – К.-Полтава, 2011. – С. 56.
2. Вахонєєв В.В. Підводні археологічні дослідження в Ольвії // Археологічні дослідження в Україні в 2011 р. – К., 2012. – С. 315-316.
3. Вахонєєв В.В., Палієнко С.В., Зеленко С.М. Звіт про підводні археологічні дослідження в акваторії Чорного моря від краю Кінбурнської коси до мису Аджияск на території Миколаївської області в 2012 році. // Архів ІА НАНУ. 2013
4. Зеленко С.М., Кобець В.Д., Морозова Я.І. Отчет о разведках подводной археологической экспедиции Киевского национального университета имени Тараса Шевченко на шельфе Черноморского побережья Херсонской и Николаевской обл. в 2013 году. // Архів ІА НАНУ. 2014
5. Зеленко С.М., Кобець В.Д., Морозова Я.І. Отчет о разведках подводной археологической экспедиции Киевского национального университета имени Тараса Шевченко на шельфе Черноморского побережья Херсонской и Николаевской обл. в 2014 году. // Архів ІА НАНУ. 2015

УДК 902.034

ПОДВОДНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РІЧКИ ДНІПРО БІЛЯ ГОРОДИЩА ТЯГІН

Автори: Чубенко О.В., Київський обласний центр охорони і наукових досліджень пам'яток культурної спадщини, м. Київ, Україна; Ієвлев М.М., к.і.н., Інститут археології Національної академії наук України, м. Київ; Зеленко С.М., к.і.н., Федерація підводного спорту та підводної діяльності України, м. Київ, Україна

Фортеця та городище Тягинь розташовані на півострові між р. Дніпро та його правою притокою – р. Тягинкою, яка й дала назву фортеці та городищу. Вона розташована на схід від с. Тягинка Беріславського району Херсонської області. Археологічне дослідження пам'ятки почалося у 1914 р. В.І. Гошкевичем [1]. На думку дослідника історичної географії Золотої Орди В. Л. Єгорова це городище є одним з чотирьох відомих золотоординських міст Нижнього Подніпров'я [2]. Городище Тягинь знаходяться в дуже зручному стратегічному місці, яке дозволяло здійснювати контроль як за водним торговельним шляхом, який проходив по р. Дніпро, так за сухопутним шляхом між Європою та Кримом. В районі розташування острова Тягинь у середньовіччі знаходилася одна з переправ через р. Дніпро, яка згадувалася Михайлом Литвином у середині XVI ст. [3].

З метою визначення місця знаходження річкового порту та переправи в районі Тягинського городища у 2018 р. були проведені батиметричні дослідження акваторії річок Дніпра та Тягинка. При їх проведенні в акваторії р. Тягинка були знайдені рештки пристані. Загальна площа розповсюдження решток опор складає понад 300 м кв, а її розміри дорівнюють 11 x 35 м. Окрім водного торгового шляху біля Тягинського городища знаходилася переправа через р. Дніпро по який проходив сухопутний шлях. При проведенні батиметричних досліджень в районі впадіння р. Тягинки у р. Дніпро, біля мису який вони утворюють, були знайдені рештки кам'яної вежі, від якої на дні р. Дніпро частково збереглися решки фундаментів та розвали стін. Рештки вежі мають розміри 25 x 20 м і розташовані на глибині – 4 м. Ця вежа у середньовіччі була

окремим фортифікаційним об'єктом, який здійснював контроль за входом до р. Тягинка. та за переправою через р. Дніпро.

При проведенні батиметричних досліджень вище впадіння р. Тягинки в р. Дніпро на дні було зафіксовано два довгих підвищення. Відкрите підвищення та існуюча на ньому переправа, вірогідно, було пов'язані з більш раннім періодом існування торгового шляху з Південної Європи до Криму. Час його існування охоплює період коли цей район входив до територій, які знаходилися в сфері політичних та військових інтересів античних держав Північного Причорномор'я. Підтвердженням цього припущення є те, що на території острова Тягинь при проведенні археологічних розвідок зустрічалися окремі поодинокі знахідки античних предметів, головним чином – фрагменти амфор.

Таким чином, в результаті проведення батиметричної зйомки в акваторіях р. Дніпро та р. Тягинка вдалося знайти місця розташування двох пристаней, місце знаходження переправи через р. Дніпро та вежі біля неї.

Список літератури:

1. Гошкевич В.И. Раскопки на острове против м. Тягин / В.И. Гошкевич // Летопись музея за 1914 год. – Вып. 6. – 48 с.
2. Егоров В.Л. Историческая география Золотой Орды / В.Л. Егоров // М. Наука, 1985. – 246 с.
3. Сычевский В.Е. Пути и условия сношения Москвы с Крымом на рубеже XVI века. Известия АН СССР Отделение обществ. Наук Сер. 7. – Л. 1932. – № 3. – С. 217 – 222.

ЗМІСТ

Секція 1. Теорія проектування підводних технічних засобів	3
Water entry of a disk at small angles to a free surface <i>Savchenko Yu.N.; Semenov Yu.A.; Vlasenko Yu.D.; Savchenko G.Yu.</i>	3
Постановка завдання проектування і серійного виробництва засобів морської робототехніки в Україні <i>Бабкін Г.В.</i>	10
Дослідження роботи рушійно-рульового комплексу підводного апарата в косому потоці води методами математичного моделювання <i>Блінцов В.С.; Король Ю.М.; Надточий А.В.; Грудініна Г.С.</i>	13
Науково-методичні аспекти викладання дисциплін освітньої програми «Sea Robotics» для іноземних студентів <i>Буруніна Ж.Ю.</i>	27
Удосконалення методики проєктування ненаселених буксируваних підводних апаратів <i>Куценко П.С.</i>	31
Наукові аспекти класифікації засобів морської робототехніки як теоретична основа їх проектування <i>Надточий А.В.</i>	36
Побудова системи електроживлення дослідної моделі підводного апарата з гідробіонічним рушієм <i>Ольшєвський С.І.</i>	41
Рух підводних суперкавітуючих апаратів за заданими траєкторіями <i>Семененко В.М.; Наумова О.І.</i>	44
Висновки та уроки з нарощування виробничих потужностей корабелень Миколаєва у будівництві підводних човнів у міжвоєнний період <i>С.М. Соколюк</i>	49
Вдосконалення проектування морських підводних систем з гнучкими зв'язками <i>Трунін К.С.</i>	68
Розвиток основоположних засад стратегії морської безпеки України: Пріоритети набуття необхідних спроможностей <i>Яким'як С.В.</i>	72

Секція 2. Електрообладнання та автоматика підводних систем і комплексів	79
Motion control of robotic arm manipulator <i>Fang Wei</i>	79
Overview of technical specifications of control panels of underwater remote operated vehicles <i>Lin Zilin</i>	81
Analyze of hardware control system for underwater vehicles <i>Wu Liming</i>	87
Modeling of automatic control system of an autonomous underwater vehicle as a group “agent” <i>Xu Zheng</i>	91
The improvement of GPS/INS integrated navigation system design for underwater robots <i>Xue Chenglei</i>	100
Структура системи автоматичного керування малорозмірним безпечним надводним судном в умовах невизначеності зовнішніх збурень <i>Бурунін А.П.</i>	105
Лічильник кабелю відеокамери для інспекції свердловин <i>Гончаров Д.В.</i>	110
Удосконалення системи автоматичного керування швидкістю руху АНПА <i>Грудініна Г.С.</i>	113
Розробка електрообладнання вантажного автономного підводного апарату <i>Модь О.М.; Козанчин І.І.</i>	119
Анаеробні енергетичні установки для підводних рухомих об’єктів <i>Салтанов С.В.</i>	121
Розробка системи автоматичного керування груповим рухом безпечних надводних суден <i>Спільний М.М.</i>	131
Використання Ethernet-технологій у системах інформаційного обміну підводної техніки <i>Трибулькевич С.Л.; Костенко Д.В.; Трибулькевич В.В.</i>	134
Система електроживлення прив’язного підводного апарату <i>Четиженко С.О.</i>	143
Електрообладнання прив’язного підводного апарату <i>Шевяков В.О.</i>	146

Секція 3. Носії та забезпечення підводно-технічних робіт.....150

Сучасні завдання створення і застосування засобів морської робототехніки в інтересах України <i>Блінцов В.С.; Блінцов О.В.</i>	150
--	-----

Концепція та загальні вимоги до системи керування морським природоохоронним роботизованим комплексом <i>Буссов Д.С.</i>	157
Організація робіт з проведення акваторії внутрішніх вод Чорного моря, річок та водоймищ у межах Миколаївської області у безпечний стан <i>Грицаєнко М.Г.; Шликов А.О.</i>	163
Математическая модель динамически подобных носовых и кормовых подруливающих устройств (сопел) на носителе подводных аппаратов <i>Зайцев Волод.В.; Зайцев В.В.; Зайцев Д.В.</i>	168
Огляд тенденцій розвитку спуско-піднімальних пристроїв суден-носіїв <i>Клічановська В.І.</i>	173
Лабораторний стенд для дослідження суднової аварійно-попереджувальної сигналізації <i>Костенко Д.В.; Овсянников В.М.; Грудініна Г.С.</i>	175
Аналіз динамічних показників морської платформи <i>Кошара А.В.</i>	191
Аналіз уніфікованих виробів управління автономними електростанціями <i>Логвінов В.О.</i>	198
Сучасні наукові завдання електромеханіки малорозмірних безекіпажних суден <i>Надточий В.А.</i>	205
Електричні системи постійного струму для пасажирських морських суден <i>Рубан Б.Г.</i>	211
Інтелектуальна система автоматичного керування малорозмірним безекіпажним судном в умовах дії зовнішніх збурень <i>Сабуцький І.П.</i>	220
Маніпулятор підводного апарату для екологічного моніторингу <i>Тітов А.В.</i>	225
Задачі природоохоронного моніторингу мілководних акваторій та їх робототехнічне забезпечення.....	228
<i>Трибулькевич В.В.</i>	228
Оптимізація характеристик вентиляційного пристрою машинного відділення <i>Філевський Д.О.</i>	236

Різак підводного апарату для перерізання затонулих сталевих конструкцій <i>Цвігун Д.М.</i>	238
Секція 4. Підводна археологія та експедиційна діяльність	241
Підводні археологічні дослідження затонулого античного судна кінця IV- початку III ст. до н.е. в чорноморській акваторії Кінбурнської коси в 2018 – 2019 рр. <i>Герасімов В.; Рейда Р.; Смирнов О.; Прейс П., Лоізоу Е.</i>	241
Роботи на античному вітрильнику в акваторії Кінбурнської коси <i>Герасімов В.Є.; Смирнов О.І.</i>	263
Дослідження акваторії Дніпра методами ГБО (гідролокаторами бічного огляду) протягом 2019-2021 рр. <i>Кобець В.Д.</i>	266
Подводно-археологические экспедиции Киевского национального университета имени Тараса Шевченко в Северо-Западном Причерноморье в 2010-2014 годах <i>Морозова Я.И.; Зеленко С.М.</i>	268
Подводні дослідження річки дніпро біля городища Тягін <i>Чубенко О.В.; Ієвлев М.М.; Зеленко С.М.</i>	272

Наукове видання

**ПІДВОДНА ТЕХНІКА
І ТЕХНОЛОГІЯ**

ПТТ-2021

**XI Всеукраїнська науково-технічна конференція
з міжнародною участю**

09–10 грудня 2021 року

*Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
просп. Героїв України, 9, м. Миколаїв
Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки
просп. Центральний, 3, м. Миколаїв*

МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ

(українською, російською та англійською мовами)

Відповідальна за випуск В. В.Трибулькевич

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 16,2. Тираж 100 прим. Зам. № 49
Видавець і виготівник Національний університет кораблебудування,
імені адмірала Макарова
просп. Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54025
E-mail : publishing@nuos.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2506 від 25.05.2006 р.