

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



**НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ
КОНФЕРЕНЦІЇ**

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

ПІДВОДНА ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЯ

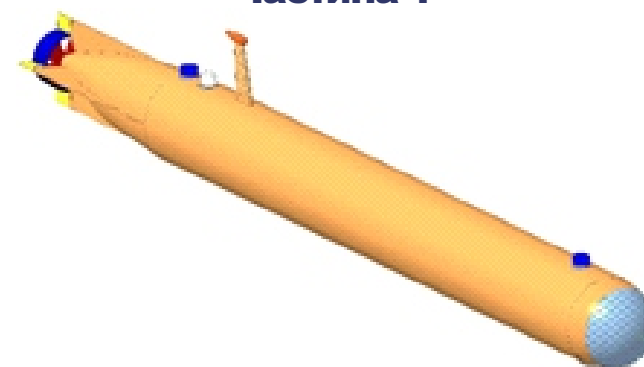
ПТТ-2019

МАТЕРІАЛИ

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

12-13 грудня 2019 року

**У двох частинах
Частина 1**



Миколаїв ■ НУК ■ 2019

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
імені адмірала Макарова

**ПІДВОДНА ТЕХНІКА
І ТЕХНОЛОГІЯ**

ПТТ-2019

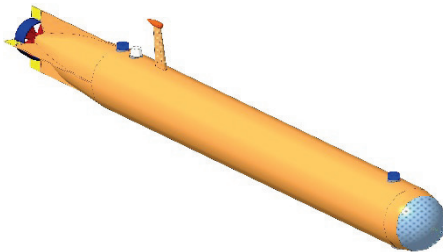
МАТЕРІАЛИ

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

12 – 13 грудня 2019 року

**У двох частинах
Частина 1**

*Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки
просп. Центральний, 3*



МИКОЛАЇВ • НУК • 2019

ОРГАНІЗАТОРИ:

1. Міністерство освіти і науки України
2. Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
3. Інститут археології НАН України
4. Центральний науково-дослідний інститут озброєння і військової техніки Збройних Сил України
5. Головне Управління ДСНС України в Миколаївській області
6. Державне підприємство «Київський науково-дослідний інститут гідроприматів»
7. Державне підприємство «Дослідно-проектний центр кораблебудування»
8. Національний університет «Одеська морська академія»
9. 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 ІХ Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю : в 2 ч. — Миколаїв : НУК, 2019. — Ч. 1. — 88 с.

У збірнику подані матеріали ІХ 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

СЕКЦІЯ 1. ТЕОРІЯ ПРОЕКТУВАННЯ ПІДВОДНИХ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ АРХІТЕКТУРНО- КОНСТРУКТИВНОГО ТИПУ ПРИВ'ЯЗНИХ ПІДВОДНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ПОШУКОВИХ, ІНСПЕКЦІЙНИХ І ТЕХНІЧНИХ ПІДВОДНИХ РОБІТ

*Автори: В.С. Блінцов, д.т.н., проф.; О.П. Ключков, ст. викладач;
П.С. Куценко, Національний університет кораблебудування імені
адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна*

1 Загальні зауваження

На відміну від теорії проектування надводних суден, для СППС на цей час не існує усталеного поняття «архітектурно-конструктивний тип». Тому у роботі спираючись на аналогію надводних суден та з урахуванням особливостей застосування СППС пропонується наступний перелік ознак, які у сукупності утворюють архітектурно-конструктивний тип СППС:

- конструкція несучої рами СППС;
- конструкція гідродинамічних обтікачів СППС;
- кількість міцних та баророзвантажених корпусів СППС;
- розташування енергетичного устаткування СППС;
- розташування інформаційно-навігаційного устаткування СППС;
- особливості пропульсивної установки (число і розташування рушіїв).

Архітектурно-конструктивний тип СППС пропонується характеризувати також кількістю, розмірами й розташуванням рубок і вирізів, та зовнішніх пристроїв СППС (фото- та відеообладнання, гідроакустичних приладів, маніпуляторів тощо).

Виходячи з системного підходу до створення нових зразків підводної техніки, запропоновано розробку методу визначення архітектурно-конструктивного типу «інтелектуального» СППА виконувати як послідовність «підводна місія – підводна технологія –режими роботи – склад бортового обладнання для реалізації режиму – ознака архітектурно-конструктивного типу СППС».

2. Зв'язок між підводними завданнями та архітектурно-конструктивним типом СППС для їх реалізації

Аналіз ринку підводних робіт та досвід НДІ підводної техніки НУК свідчать, до головних підводно-технічних завдань (місій), які потребують застосування СППС, відносяться:

пошуково-інспекційні завдання – пошук затонулих об’єктів, їх обстеження та дистанційний приладовий контроль технічного й екологічного стану;

технічні підводні завдання – обстеження підводної частини корпусу надводного судна наплаву (стану його корпусу, рушійно-стернового комплексу та заборотної апаратури) або обстеження затонулого об’єкту (його просторового положення і стану корпусу, наявність витікання паливно-мастильних матеріалів, обстеження ґрунту навколо затонулого об’єкту, документування процесу і результатів виконання підводних технічних завдань;

науково-дослідні та природоохоронні підводні завдання – моніторинг параметрів водного середовища і ґрунту з приладовим їх вимірюванням та взяттям проб води і ґрунту, підводні археологічні дослідження (пошук, ідентифікація, дослідження стану та документування підводних артефактів, їх підйом на поверхню);

протидиверсійні та антитерористичні завдання – нейтралізація загроз кораблю від атак бойових плавців та бойових морських тварин:

протимінні завдання – виявлення морських мін на заданій акваторії та їх нейтралізація.

Опишемо базові технології застосування СППС для перших двох сформульованих вище типових завдань – пошуково-інспекційних та технічних завдань, після чого розглянемо питання визначення архітектурно-конструктивного типу «інтелектуального» СППС, призначених для їх розв’язку.

Перше завдання має виконуватись за наступною технологією:

первинне обстеження донної поверхні та водного середовища з метою визначення гідрологічних особливостей морського району, встановлення реальних розмірів робочої зони СППС, первинне приладове обстеження підводних об’єктів природного та антропогенного походження;

приладова інспекція підводних об’єктів та водного середовища наявними бортовими приладами (ультразвуковими, магнітними, хімічними та іншими сенсорами);

взяття проб води і ґрунту за допомогою пробовідбірників, маніпуляторів тощо;

складання електронної карти робочої зони СППС з нанесенням на неї ізобат глибин та координат і характеристик підводних об'єктів природного та антропогенного походження, місць взяття проб води і ґрунту;

фото- і відеодокументування процесу і результатів виконання підводної роботи.

Описана технологія виконується за допомогою гідроакустичних, магнітометричних та відеозасобів з обов'язковим документуванням відео-, аудіо- та телеметричної інформації, яка надходить до ПЕК, під контролем просторового положення СППС відносно підводного об'єкту, який інспектується.

Аналіз показує, що для реалізації зазначених робіт СППС має забезпечувати наступні головні режими роботи:

перевірка працездатності складових СППС на борту судна-носія перед його спуском на воду;

спуск СППС на воду та його занурення на задану глибину по заданій траєкторії;

лінійний чи просторовий рух СППС зі стабілізацією параметрів руху (глибини, висоти над ґрунтом, швидкості, курсу та траєкторії) при виконанні пошуку підводних об'єктів;

просторовий рух навколо виявленого підводного об'єкту, який інспектується, по оперативно визначеній траєкторії зі стабілізацією параметрів руху;

стабілізація СППС у просторі (режим позиціонування у точці) при виконанні приладових вимірювань та/чи взяття проб води і ґрунту;

повернення СППС до судна і підйом на борт.

Друге завдання – обстеження підводної частини корпусу надводного судна наплаву – повинно виконуватись за наступною технологією:

перевірка працездатності складових СППС на борту судна-носія перед його спуском на воду;

спуск СППС на воду та його вихід у зону роботи по заданій траєкторії;

стабілізований рух СППС уздовж підводної частини корпусу судна, яке знаходиться наплаву;

стабілізація СППС при виявленні відхилень технічного характеру (стану корпусу, кінгстонної апаратури, гвинто-стернового комплексу, гідроакустичних антен тощо) для їх фото- та відеофіксації;

формування даних для цифрової карти результатів виконання технічного підводного завдання;

повернення СППС до судна і підйом на борт.

Вивчення особливостей реалізації обох розглянутих завдань СППС на практиці показує, що для їх ефективного зв'язку СППС повинні мати такі основні експлуатаційні властивості:

широкий діапазон швидкості СППС і, відповідно, упорів $\vec{F}_{ПА} = \{F_x, F_y, F_z\}$ його рушійного комплексу для реалізації граничних швидкісних режимів, позиціювання в точці (мінімальні упори) та синхронного руху СППС і судна (причому СППС утримується на заданій дистанції від СН та на заданій глибині, розвиваючи максимальні упори);

високий рівень автоматизації режимів роботи СППС для ефективного керування його стабілізованим рухом та динамічними режимами в умовах невизначеності параметрів зовнішніх збурень (течії, ривків КТ тощо);

потужне пошукове гідроакустичне і магнітометричне обладнання з високими характеристиками для надійного виявлення і розпізнавання підводних об'єктів;

розвинене спеціальне програмне забезпечення – цифрові карти і бази даних підводних об'єктів – для оперативного формування й оновлення інформації про підводну обстановку й автоматичної ідентифікації об'єктів.

Попередній розгляд показує, що практичне забезпечення кожної зі сформульованих експлуатаційних властивостей може бути досягнуте шляхом створення методик синтезу відповідних систем і вузлів СППС, які повинні охоплювати наступні чотири напрямки:

енергетику СППС;

інформатику СППС;

об'ємну компоновку СППС як твердого тіла, яке має функціонувати під водою (архітектурно-конструктивний тип, робота в умовах

високого гідростатичного тиску, обтікання набігаючим потоком води тощо);

загальну функціональність СППС (можливість застосування за призначенням).

Вказані напрямки дають змогу сформулювати склад бортового обладнання для проектної реалізації граничних режимів СППС та, у сукупності, утворюють підґрунтя для формування його архітектурно-конструктивного типу.

3. Синтез рівнянь існування «інтелектуального» ПАР

Особливість рівнянь існування «інтелектуальних» ПАР, порівняно з традиційним повітряними та морськими інженерними спорудами, полягає у необхідності складення рівнянь мас і об'ємів ПАР з урахуванням всіх чотирьох напрямків забезпечення заданих експлуатаційних властивостей – енергетичного, інформаційного, конструкційних матеріалів та компоновочного напрямку.

Слід розглянути спільно рівняння мас і об'ємів, правильність рішення яких встановлюється балансом за законом Архімеда:

$$m_{\sum \text{ПАР}} = \rho V_{\sum \text{ППО}}. \quad (1)$$

Тут $m_{\sum \text{ПАР}}$ – сумарна маса усіх елементів підводного робота

$$m_{\sum \text{ПАР}} = \sum m_{j \text{inv}} + \sum m_i(D, r) \quad (2)$$

де $m_{j \text{inv}}$ – не залежні від водотоннажності маси, прямо або побічно відомі з початкових даних на проектування ПАР, так званий корисний вантаж (КВ); $m_i(D, r)$ – маси, залежні від водотоннажності, проектних параметрів і заданих величин.

Повна маса, використовувана в розрахунках руху ПАР при нестаціонарних режимах, запишеться як

$$m_{\sum \Sigma} = m_{\sum \text{ПАР}} + m_{\text{д.в.}}, \quad (3)$$

де $m_{\text{д.в.}}$ – додаткова маса води в проникних частинах (елементах) ПАР

$$m_{\text{д.в.}} = \rho(V_{\text{ГК}} - V_{\sum \text{ППО}} - V_{\text{вч}}); \quad (4)$$

$V_{\text{ГК}}$ – об'єм голого корпусу; $V_{\text{ГК}} = \delta LBH$; δ – коефіцієнт загальної повноти; L, B, H – довжина, ширина, висота ПАР; δ – коефіцієнт загальної повноти; $V_{\sum \text{ППО}}$ – сумарний постійний плавучий об'єм; $V_{\sum \text{вч}}$ – сумарний плавучий об'єм частин, що виступають.

Аналогічно (2) можна записати вирази для рівняння об'ємів

$$V_{\sum \text{ППО}} = \sum V_{\text{jin}} + \sum V_{\text{ППО}}(D, r), \quad (5)$$

де V_{jin} – об'єми, не залежні від водотоннажності; $V_{\text{ППО}}(D, r)$ – об'єми, залежні від водотоннажності.

Розподіл мас і об'ємів по елементах розшифровано в табл. 1.

Таблиця 1 – Розподіл мас і об'ємів по елементах ПАР

Перелік мас і об'ємів	Позначення		
	мас	плаву- чих об'ємів	споживаної по- тужності
1	2	3	4
Не залежні від водотоннажності ПР			
Наукове, робоче і навігаційне устаткування, розміщене поза міцними корпусами (антени ехолотів, гідролокаторів, телекамери, маніпулятори, світильники, датчики тощо)	$m_{\sum 0}$	$V_{\sum 0}$	$N_{\sum 0}$

Продовження табл. 1

1	2	3	4
Наукове, робоче і навігаційне устаткування, розміщене в міцних корпусах (мікропроцесори, електронні блоки тощо)	$m_{\Sigma ПГ}$	$V_{\Sigma ПГ}$	$N_{\Sigma ПГ}$
Міцні корпуси	$m_{\Sigma МК}$	$V_{\Sigma МК}$	$N_{\Sigma МК}$
Залежні від водотоннажності ПР			
Легкий корпус	$m_{ТЛК}$	$V_{ТЛК}$	-
Несуча рама $m_{\Sigma ПРК}$ $m_{\Sigma АС}$ $V_{\Sigma АС}$	$m_{\Sigma НР}$	$V_{\Sigma НР}$	-
Вузли кріплення устаткування і систем	$m_{\Sigma УК}$	$V_{\Sigma УК}$	-
Рушійно-рульовий комплекс		$V_{\Sigma ПРК}$	$N_{\Sigma ПРК}$
Сферопластик	m_c	V_c	-
Вирівнювальна система	$m_{\Sigma BC}$	$V_{\Sigma BC}$	$N_{\Sigma BC}$
Кренодифферентная система	$m_{\Sigma КДС}$		
Енергоустановка (енергоджерела)	$m_{\Sigma ЕУ}$	$V_{\Sigma ЕУ}$	$N_{\Sigma ЕУ}$
Аварійна система			$N_{\Sigma АС}$
Електрообладнання		$V_{\Sigma ЕО}$	$N_{\Sigma ЕО}$
Міцні системи	$m_{\Sigma МС}$	$V_{\Sigma МС}$	$N_{\Sigma МС}$
Баластна система	m_B	V_B	-
Змінний вантаж	$m_{\Sigma ЗВ}$	$V_{\Sigma ЗВ}$	-

Постійний плавучий об'єм і об'єм голого корпусу (повний) пов'язані залежністю

$$V_{\Sigma \text{ ППО}} = V_{\text{ГК}} k_{\text{зал}} + V_{\Sigma \text{ ППОВЧ}}, \quad (6)$$

де $k_{\text{зал}}$ – коефіцієнт заповнення об'єму легкого корпусу (ЛК) устаткуванням, системами і конструкціями.

У відмінності від рекомендацій (7) встановлено, що $k_{\text{зал}}$ залежить не лише від співвідношення об'ємів. При постійній величині $V_{\text{ГК}}$

$$k_{\text{зал}} = F(F_{\text{ЛК}}, f_i, M), \quad (7)$$

де $F_{\text{ЛК}}$ – форма легкого корпусу; f_i – форми i -х складових об'ємів; M – масштабний множник

$$M = \frac{\sum V_i}{n V_{\text{ГК}}}, \quad (8)$$

n – кількість елементів в ЛК.

Максимальне значення коефіцієнта заповнення 0,83-0,85, для існуючих ПР $k_{\text{зал}} = 0,3 - 0,72$.

На початкових етапах проектування, коли відомі тільки незалежні маси і об'єми, очікуваний постійний плавучий об'єм і масу ПР можна оцінити, заздалегідь розрахувавши параметри міцних корпусів за допомогою коефіцієнтів утилізації маси і об'єму η_m, η_v по корисному вантажу, задаючись $k_{\text{зал}}$.

Вирази (5) і (2) з обліком $V_{\Sigma \text{ ППО}} = \sum V_{\text{jinв}/\eta_v}$, $m_{\Sigma \text{ ПР}} = \sum m_{\text{jinв}/\eta_m}$ запишуться таким чином:

$$\sum m_i(D, r) = \sum m_{\text{jinв}} \left(\frac{1}{\eta_m} - 1 \right); \quad (9)$$

$$\sum V_{шпо}(D, r) = \sum V_{jinv} \left(\frac{1}{\eta_V} - 1 \right). \quad (10)$$

Баланс рівнянь (9) і (10) буде мати вигляд:

$$\frac{\sum m_{jinv}}{\eta_m} = \rho \frac{\sum V_{jinv}}{\eta_V}. \quad (11)$$

Значення η_m, η_V є функцією робочої глибини занурення $H_{ПАР}$, швидкості ходу $v_{ПАР}$, типу енергоустановки ПАР, форми його корпусу, механічних властивостей матеріалу плавучості, технічних параметрів інших систем, конструкцій, перерахованих в табл. 1. Вони можуть змінюватися в значних межах. Наприклад, для автономного підводного робота при $H_{ПАР}=6000$ м, що використовує як енергоджерело свинцево-кислотні акумуляторні батареї, із швидкістю маршового ходу 1,0 м/с, зі сферичними міцними корпусами $\eta_m = 0,25$; $\eta_V = 0,15 - 0,18$.

Зміна робочої глибини до 4000м при постійності інших параметрів спричинить зміну значень η_m на 25%, η_V – на 17%.

У зв'язку із залежністю архітектури ПАР від типу енергоустановки (енергоджерела), автономності, швидкості ходу і умов застосування його існування (теоретична можливість створення) визначається рівнянням балансу потужності

$$N_{\sum ПАР} = \sum k_{од} N_{jinv} + \sum N_i(D, r), \quad (12)$$

де N_{jinv} – потужність, споживана корисним вантажем; $N_i(D, r)$ – потужність, споживана залежними від водотоннажності складовими частинами ПАР; $k_{одj}$ – коефіцієнт одночасності роботи j -го корисного вантажу.

$$k_{одj} = \frac{T_{KBj}}{T_{\sum}}; \quad (13)$$

$T_{\text{кв}j}$ – час роботи j -го корисного вантажу; T_{Σ} – сумарний час роботи (задається замовником).

Розглянемо складові другого доданку з (12) детальніше:

$\eta_{\text{ЕУ}}$ – коефіцієнт корисної дії енергетичної установки (ЕУ);

$$N_{\text{ЕУ}} = \frac{1}{\eta_{\text{ЕУ}}} \left(\sum k_{i\text{PPK}} N_{i\text{PPK}} + \sum k_{i\text{BC}} N_{i\text{BC}} + \sum k_{j\text{AC}} N_{j\text{AC}} + \sum k_{i\text{EO}} N_{i\text{EO}} + \right. \\ \left. + \sum k_{i\text{KDC}} N_{i\text{KDC}} + \sum k_{i\text{PC}} N_{i\text{PC}} + \sum k_{j\text{OD}} N_{j\text{inv}} \right)$$

де $k_{i\text{PPK}}, k_{i\text{BC}}, k_{i\text{KDC}}, k_{j\text{AC}}, k_{i\text{EO}}, k_{i\text{PC}}$ – коефіцієнти одночасності роботи відповідних споживачів енергії.

Для прив'язних робіт

$$N_{\Sigma\text{ПАР}} = N_{\text{КТН}} k_{\text{ТПЕР}} k_{\text{ПЕР}} \eta_{\text{КТ}},$$

де $N_{\text{КТН}}$ – номінальна потужність, що передається по кабель-тросу; $k_{\text{ТПЕР}}$ – коефіцієнт часу навантаження, що допускається; $k_{\text{ПЕР}}$ – коефіцієнт перевантаження; $\eta_{\text{КТ}}$ – коефіцієнт втрат в кабель-тросі.

Для автономних робіт

$$N_{\Sigma\text{ПАР}} = \frac{A}{E_{\Sigma}},$$

де A – енергоємність енергоджерела до повної розрядки.

На відміну від традиційних підходів, де при визначенні потужності приводу маршових рухів швидкість приймається не залежною від часу і шляху, для ПАР необхідно розглядати зміну потужності в часі.

Це пояснюється суттєвим впливом на рух ПАР гідрології району підводних робіт, рельєфу дна. Швидкості течій можуть бути сумірні-

ми з експлуатаційною швидкістю ПАР і навіть перевищувати її у декілька разів, змінюватися по напрямку. Тому баланс потужності показує, чи зможе в таких умовах існувати підводний робот.

Аналіз зовнішніх чинників при роботі ПАР біля ґрунту показує, що на його рух, тобто на значення $\sum k_{iPPK} N_{iPPK}$; $\sum k_{iBC} N_{iBC}$; $\sum k_{iKDC} N_{iKDC}$ найбільший вплив мають кривизна рельєфу, швидкість і напрям течії. Вони характеризуються: радіусом кривизни $R_{кр}$ рельєфу, швидкістю течії v_T кутом набігання потоку течії α_T на ПАР (при маршевому русі) відносно поздовжньої осі ПАР у зв'язаній системі координат.

Місцева технічна швидкість

$$v_x = \frac{v_\infty}{\varphi(\bar{l}_{кр}, \bar{v}_T, \bar{\alpha}_T)}, \quad (14)$$

де v_∞ – необхідна експлуатаційна швидкість ПР за відсутності течії; $l_{кр} = L/R_{кр}$ (L – довжина ПАР); $\bar{v}_T = v_T/v_\infty$; $\bar{\alpha}_T = \gamma/\alpha_T$ (γ – курсовий кут ПАР).

Очевидно, що ходовий час ПАР, необхідний для обстеження заданого полігону зі швидкістю v_x , можна визначити з виразу

$$t_x = \frac{S}{\int_0^S \frac{dS \varphi(\bar{l}_{кр}, \bar{v}_T, \bar{\alpha}_T)}{v_\infty}}, \quad (15)$$

де S – довжина шляху ПАР.

Ввівши безрозмірну координату шляху $\bar{s} = s/S$ перетворимо (16) до виду

$$t_x = \frac{S}{v_\infty} I_\varphi, \quad (16)$$

де I_φ – математичне очікування $\varphi(\bar{l}_{кр}, \bar{v}_T, \bar{\alpha}_T)$:

$$I_{\varphi} = \iiint e^{it\phi(\bar{l}_{kp}, \bar{v}_T, \bar{\alpha}_T)} f(\bar{l}_{kp}, \bar{v}_T, \bar{\alpha}_T) d\bar{l}_{kp}, \bar{v}_T, \bar{\alpha}_T. \quad (17)$$

Середня технічна швидкість на полігоні

$$\bar{v}_x = \frac{v_{\infty}}{I_{\varphi}}. \quad (18)$$

Таким чином, визначивши t_x і $\bar{v}_x$, маємо можливість знайти середню споживану потужність маршових рушіїв

$$N_{xPPK} = \frac{R_x \bar{v}_x}{\eta}. \quad (19)$$

де R_x – буксирувальний опір корпусу ПАР при русі маршем; η – пропульсивний коефіцієнт РРК ПАР.

Коефіцієнт одночасності в цьому випадку

$$k_{xPPK} = \frac{t_x}{T_{\Sigma}}. \quad (20)$$

Приведена вище схема розрахунку дає змогу оцінити можливість існування ПАР як інженерної споруди за конкретних зовнішніх умов.

4. Показник «інтелектуалізації» ПАР

Підвищення ефективності функціонування ПАР у складних умовах експлуатації можливе за рахунок «інтелектуалізації» його системи автоматичного керування (САК). Для оцінки ступеню інтелектуальності ПАР введемо деякі кількісні показники.

Нехай створюваний ПАР має деяку функціональну структуру $f(s) \in F(S)$, де $F(S)$ – повна множина функцій керування ПАР.

Позначимо через $F(M)$ підмножину функцій керування, виконуваних в рамках структури $F(M) \in F(S)$ оператором ПАР вручну, а через підмножину $F(A) \in F(S)$ – підмножину функцій керування, реалізовану програмно-технічною компонентою САК. При цьому має місце відношення: $F(M) \cup F(A) = F(S)$.

Процес інтелектуалізації полягає у переведенні функцій підмножин керування $F(M)$ і $F(A)$ у підмножину функцій автоматичного керування $F(I)$, у яких застосовуються елементи теорії штучного інтелекту:

$$F(M) \rightarrow F(I); \quad (21)$$

$$F(A) \rightarrow F(I); \quad (22)$$

$$F(M) \cup F(A) \cup F(I) = F(S). \quad (23)$$

Для здійснення цієї процедури використовуються методи штучного інтелекту для подання знань оператора ПАР і евристичних способів прийняття рішень. При цьому програмно-технічний компонент повинен виконувати передані функції не гірше оператора ПАР, а краще, тобто надійніше, і/або швидше та інш.

Тоді рівень «інтелектуалізації» керування режимами роботи ПАР можна визначити спеціальним показником інтелектуалізації Int :

$$Int = F(I) / [F(M) \cup F(A)]. \quad (24)$$

У відповідності до співвідношень (21) – (23) у процесі інтелектуалізації значення показника Int повинне зростати, починаючи з деякого початкового (часто – нульового) значення.

Теоретично досяжне максимальне значення даного показника інтелектуалізації можна охарактеризувати співвідношенням:

$$Int_{\max} = 1 \left| \begin{array}{l} F(M) = \emptyset \\ F(A) = \emptyset \end{array} \right. \quad (25)$$

Однак на практиці в сучасних системах керування ПАР цей показник менше одиниці, оскільки не всі функції керування доцільно «інтелектуалізувати». Крім того, повне виключення оператора прив'язного ПАР із контуру керування недоцільно з-за низки міркувань, до головних з яких відносяться:

складність повномасштабної автоматизації керування прив'язними ПАР з-за суттєвих нелінійностей об'єкта керування, який містить взаємодіючі між собою у потоці води тверді тіла (корпуси ПА) та гнучкі тіла (кабель-троси);

суттєве підвищення вартості «інтелектуального» ПАР з-за необхідності використання прецизійних сенсорів просторового положення і динаміки ПАР.

5. Розробка методу визначення архітектурно-конструктивного типу «інтелектуальних» ПАР

Визначення архітектурно-конструктивного типу «інтелектуального» ПАР є прикладною науковою задачею, розв'язок якої визначає правильний вибір конструкції корпусу, загального розташування елементів, вузлів та систем підводного апарату, його зовнішній вигляд. Успішний розв'язок цієї задачі базується на обґрунтованих технічних рішеннях головних складових процесу проектування ПАР – його енергетичного та інформаційного комплексів, правильному виборі конструкційних матеріалів ПАР та рішень щодо загальної компоновки ПАР.

На рис. 1 у вигляді блок-схеми алгоритму наведено метод визначення архітектурно-конструктивного типу «інтелектуального» ПАР, який враховує всі зазначені чинники.

Дамо опис функціонування алгоритму шляхом опису сутності окремих його блоків у порядку їх нумерації.

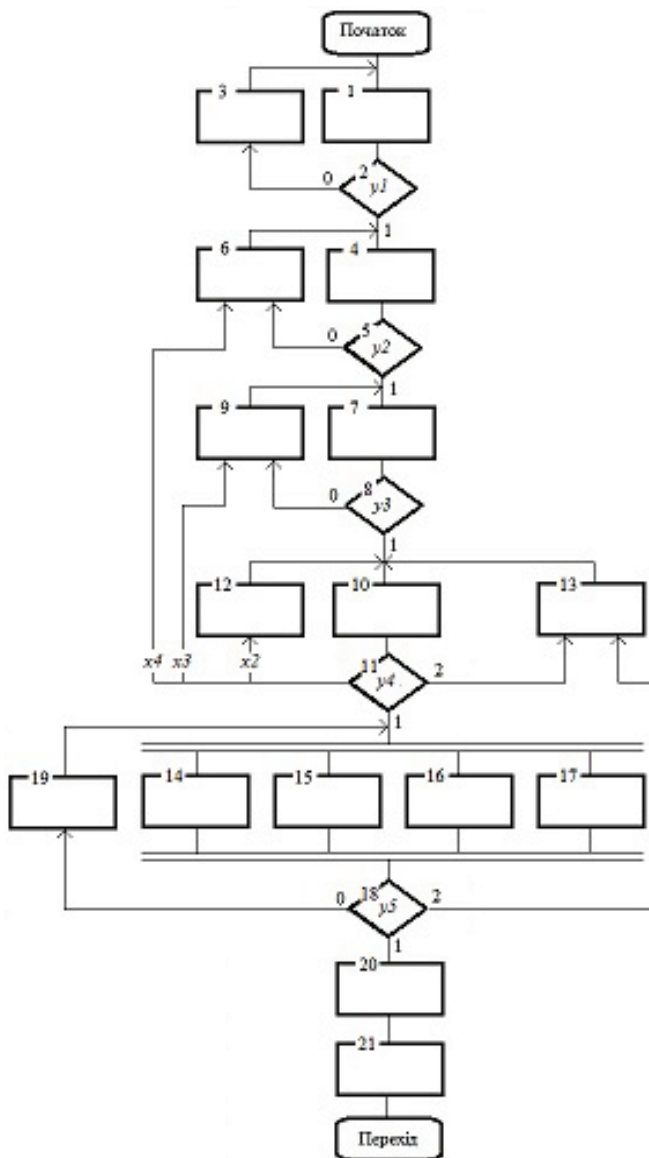


Рисунок 1 – Узагальнений алгоритм визначення архітектурно-конструктивного типу ПАВ

Б1 – блок формалізації підводного завдання (місії) ПАР. Тут розглядаються мета завдання, метеорологічне, гідрологічне, навігаційне, програмно-технічне та організаційне забезпечення виконання завдання, а також розробляються вимоги до змісту і форми подання його результатів. У цьому блоці виконується також попередня оцінка продуктивності виконання майбутньої підводної місії та розраховуються швидкості просторового руху майбутнього ПАР, необхідні для досягнення необхідної продуктивності.

Б2 – блок перевірки умови у/завдання завершення формалізації підводного завдання для ПАР.

Б3 – блок коригування вимог підводного завдання за результатами попереднього аналізу у блоці Б1.

Б4 – блок розробки технології виконання сформульованого у блоці Б1 підводного завдання. Тут розробляється загальна послідовність виконання підводного завдання за допомогою «інтелектуального» ПАР: послідовність його переміщення у водному просторі, алгоритми пошуку та обстеження підводних об'єктів, порядок виконання приладових вимірювань та виконання підводних технічних робіт з застосуванням маніпуляторів. У цьому блоці розробляються також вимоги до рівня «інтелектуалізації» ПАР – формулюється перелік робочих і аварійних режимів його роботи, у яких ПАР має самостійно ідентифікувати свій технічний стан, виявляти й аналізувати підводну обстановку, самостійно приймати рішення щодо керування виконавчими механізмами та реалізовувати прийняті рішення. До типових задач з «інтелектуалізації» ПАР відносяться:

навігація, керування й орієнтація ПАР у просторі при неповній або недостовірній інформації про зовнішнє середовище і власний стан апарату;
виявлення у реальному часі підводних навігаційних перешкод, синтез алгоритмів ухилення від них та забезпечення необхідного автоматичного керування рухом ПАР для реалізації цих алгоритмів;

високоточний стабілізований рух ПАР на заданій траєкторії, на заданій відстані від ґрунту та на заданій глибині, зокрема, з метою спостереженнями та отримання прецизійних зображень підводних об'єктів та зовнішніх фізичних полів;

виявлення та ідентифікація у реальному часі підводних об'єктів на основі відео- та гідроакустичної інформації, як анадохить від бортових систем ПАР (включаючи розпізнавання образів);

накопичення навігаційної та географічної інформації у вигляді баз даних і використання цієї інформації для інтерактивного керування ПАР та постобробки у берегових умовах;

самодіагностування і самоідентифікація функціональних властивостей ПАР, що забезпечують безпеку і живучість в екстремальних умовах і при виникненні порушень у виконанні підводних місій.

Б5 – блок перевірки умови у2 завершення розробки технології виконання сформульованого у блоці Б1 підводного завдання.

Б6 – блок коригування вихідних даних для технології виконання підводного завдання.

Б7 – блок визначення і аналізу граничних режимів роботи для механізмів і систем ПАР, які мають забезпечити його проектне функціонування за технологіями, розробленими у блоці Б4. Тут розробляються та застосовуються методи математичного моделювання та комп'ютерного дослідження функціонування ПАР та окремих його систем, у результаті застосування яких встановлюються кількості характеристики елементів і систем апарату як складові формулювання технічної пропозиції на створення конкретного ПАР. Зазвичай, до головних характеристик таких систем належать їх енергетичні, інформаційно-керуючі дані, а також відомості про очікувані масо-габаритні характеристики. Крім того, тут попередньо визначаються характеристики покупних комплектуючих, приладів, вузлів і систем, які плануються для встановлення на борту ПАР.

У цьому блоці, за необхідністю, розробляються і застосовуються інженерні методики попереднього (передескізного) проектування нових вузлів і систем створюваного ПАР.

Б8 – блок перевірки умови у3 завершення розробки вимог на створення «інтелектуального» ПАР з перевіркою можливості застосування наявних (існуючих на ринку) вузлів і систем ПАР для реалізації визначених граничних режимів роботи.

Б9 – блок коригування розробленої технології виконання підводного завдання з метою знаходження реально досяжних граничних режимів роботи вузлів і систем ПАР.

Б10 – блок проектної оцінки можливостей створення ПАР з визначеними характеристиками для виконання заданого у блоці Б1 підводного завдання. Тут на основі застосування рівнянь існування ПАР, вхідними даними для яких є характеристики елементів і систем ПАР з блоку Б7, виконується дослідницьке конструювання ПАР, зазвичай, з декількома варіантами розміщення обладнання у відповідності до існуючих архітектурно-конструктивних типів для апарату такого призначення.

Тут попередньо проробляються наступні питання:

конструкція та характеристики несучої рами ПАР;

конструкція та характеристики гідродинамічних обтікачів ПАР;

конструкція та кількість міцних та баророзвантажених корпусів ПАР;

загальне розташування енергетичного устаткування ПАР;

загальне розташування елементів системи керування ПАР;

загальне розташування зовнішнього (начіпного) обладнання ПАР – маніпуляторів, різаків, розмивачів, утримувачів корисного вантажу тощо;

загальне розташування інформаційно-навігаційного устаткування ПАР;

конструкція та характеристики пропульсивної установки (число і розташування рушіїв).

Результатом роботи цього блоку є висновок щодо можливості створення ПАР з використанням обраних у блоці Б7 елементів, систем і матеріалів та у визначених конструкторських рішеннях загального розташування цих елементів і систем.

Б11 – блок перевірки умови у4 виконання проектної оцінки щодо можливостей створення ПАР з визначеними характеристиками. При виконанні вимог рівнянь існування ПАР тут приймається попереднє рішення щодо його архітектурно-конструктивного типу та виконується перехід до блоків Б14 – Б17 проектування ПАР у цілому.

При невиконанні умови у4 виконуються переходи $x_{1,2,3}$ до блоків алгоритму верхніх рівнів.

Б12 – блок коригування характеристик елементів і систем ПАР з метою задовольнити вимоги рівнянь існування ПАР. Тут з урахуванням проектних обмежень та наявної бази існуючих та освоєних у виробництва елементів і систем (енергетичних та інформаційних) та бази

конструкційних матеріалів для підводної техніки, виконують їх підбір та перевірку можливості створення ПАР, який задовольнив би вимогам підводної місії ПАР.

При неможливості знайти конструкторське рішення за умовою у4 виконується перехід 2 до блоку Б13, у якому формулюються наукові задачі щодо створення принципово нових елементів (вузлів) ПАР, застосування яких у проекті дасть змогу створити підводний апарат з необхідними характеристиками.

Б14 – Б17 – блоки передпроектного проектування, відповідно, енергетичного та інформаційно-керуючого устаткування ПАР, виконання робіт з загальної компоновки елементів і систем апарату, а також проведення проектних розрахунків гідродинаміки ПАР, його конструкційної міцності та ін.

Б18 – блок перевірки умови у5 щодо завершення передпроектної оцінки конструкції ПАР.

Б19 – блок коригування проектних характеристик елементів і систем ПАР у межах, визначених блоками Б10 і Б12, для оптимізації попередніх проектних рішень ПАР за заданими критеріями (ціна, експлуатаційні показники тощо).

Б20 – блок остаточного формування архітектурно-конструктивного типу створюваного ПАР за результатами виконання проектних робіт у блоках Б14 – Б17.

Б21 – підготовка вихідних даних для формування технічного завдання на створення ПАР, спроможного виконати задану підводну місію.

Висновки

Сформульовано перелік ознак, які у сукупності утворюють архітектурно-конструктивний тип ПАР: конструкція несучої рами ПАР; конструкція гідродинамічних обтікачів ПАР; кількість міцних та баророзвантажених корпусів ПАР; розташування енергетичного устаткування ПАР; розташування інформаційно-навігаційного устаткування ПАР; особливості пропульсивної установки (число і розташування рушіїв).

Визначено основні експлуатаційні властивості «інтелектуального» ПАР: широкий діапазон швидкості ПАР, високий рівень автоматизації режимів роботи ПАР в умовах невизначеності параметрів зовнішніх збурень, потужне пошукове гідроакустичне і магнітометричне

обладнання, розвинене спеціальне програмне забезпечення – цифрові карти і бази даних підводних об'єктів. Встановлено, що практичне забезпечення цих властивостей може бути досягнуте шляхом створення методик синтезу відповідних систем і вузлів ПАР за чотирма напрямками – енергетики та інформатики ПАР, конструкційних матеріалів ПАР та об'ємної компоновки (конструювання) ПАР як твердого тіла, яке обтікається набігаючим потоком води.

Синтезовано рівняння існування «інтелектуального» ПАР за критерієм енергетики та введено показник «інтелектуалізації» ПАР.

У вигляді загального алгоритму синтезовано метод визначення архітектурно-конструктивного типу «інтелектуальних» ПАР, який ґрунтується на рівняннях існування ПАР.

УДК 629.58

МОДУЛЬНА СТРУКТУРА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ПРОСТОРОВОГО РУХУ ТЕЛЕКЕРОВАНОГО ПІДВОДНОГО АПАРАТА

***Автори:** О.В. Блінцов, д.т.н., проф.; А.А. Дудкіна, магістрант,
Національний університет кораблебудування імені адмірала
Макарова, м. Миколаїв, Україна*

Імітаційне моделювання є одним з основних методів дослідження складних об'єктів і процесів, в тому числі телекерованих підводних апаратів (ТПА) [1]. На сьогоднішній день відомі різноманітні конструкції ТПА, а дослідження динаміки їх просторового руху методом комп'ютерного моделювання вимагає розробки відповідних імітаційних моделей. Виходячи з того, що механічні та електричні процеси, які протікають в ТПА різних конструкцій при їх русі, підпорядковуються однаковим фізичним законам, доцільним є залучення принципу декомпозиції при розробці імітаційних моделей ТПА.

Метою даної роботи є розробка модульної структури імітаційної моделі телекерованого підводного апарата для забезпечення можливості розробки програмного забезпечення для моделювання ТПА різних конструкцій на основі типових модульних елементів.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

- проаналізувати основний закон динаміки ТПА як твердого тіла в потоці води;
- виконати декомпозицію рівнодіючих сили та моменту, які діють на ТПА;
- розробити структуру імітаційної моделі ТПА із застосуванням модульного принципу.

Як рухомий об'єкт ТПА представляє собою динамічний багатовимірний об'єкт і класифікується як морський рухомий об'єкт (МРО). Тут і далі розглядатимемо МРО з позицій теоретичної механіки як абсолютно тверде тіло, що дає змогу не враховувати силову взаємодію між його елементами, які мають масу [2]. Математичну модель руху ТПА та будь-якого іншого МРО можна представити в нормальній формі Коші у вигляді системи нелінійних матричних диференціальних рівнянь загального виду [1]:

$$\left. \begin{aligned} \dot{V} &= \Phi(V, T); \Phi = [\varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \varphi_4 \varphi_5 \varphi_6]^T; T = [F_x F_y F_z M_x M_y M_z]^T; \\ \dot{R} &= KV; R = [x y z \theta \varphi \psi]^T; V = [v_x v_y v_z \omega_x \omega_y \omega_z]^T, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де V – матриця швидкісних кінематичних параметрів МРО (похідну за часом позначено крапкою); P – матриця позиційних (поступальних та обертових) кінематичних параметрів МРО; T – матриця рівнодіючих сили $\vec{F}$ та моменту $\vec{M}$, які діють на МРО; Φ – нелінійна матрична функція, яка представляє собою матрицю-стовпець скалярних нелінійних функцій φ_i , $i = 1, 2, \dots, 6$; K – кінематична матриця зв'язку швидкісних кінематичних параметрів МРО між зв'язаною системою координат (ЗСК) та базовою системою координат (БСК) розміром 6×6 [1].

Система рівнянь (1) описує рух МРО у всьому його різноманітті. Елементи матриці K залежать від вибору напрямку осей ЗСК та БСК.

Вектори рівнодіючих сили $\vec{F}$ та моменту $\vec{M}$ утворюються за принципом суперпозицій з трьох складових: реактивні сили та моменти, рушійні сили та моменти, зовнішні сили та моменти [3].

Розглянемо ці сили та моменти більш детально (рис. 1).



Рисунок 1 – Сили та моменти, що викликають рух МРО

Рушійні сили та моменти створюються засобами активного керування. До них відносяться різноманітні рушійні пристрої на основі гребних гвинтів, водометів тощо.

Реактивні сили та моменти виникають в результаті руху ТПА в рідині і залежать від його поступальних та кутових швидкостей відносно рідини. Розділяються на інерційні та в'язкі сили та моменти.

Інерційні сили та моменти враховуються приєднаними масами рідини, в якій рухається МРО і проявляються тільки при наявності прискорень. Інерційна сила завжди спрямована в бік, протилежний прискоренню. Визначаються приєднані маси рідини шляхом чисельного розв'язку диференціальних відповідних диференціальних рівнянь або методами обчислювальної гідродинаміки. При рівномірному прямолінійному русі МРО відносно рідини інерційні сили не виникають.

Неінерційні сили та моменти обумовлені в'язкістю рідини. Розділяються за характером руху МРО, при якому вони виникають, на позиційні та демпфувальні. Позиційні сили та моменти діють на МРО при його поступальному русі відносно рідини. Демпфувальні сили та моменти обумовлені обертотним рухом МРО. Сили та моменти

в'язкості рідини не однакові для усталеного та неусталеного потоків. Але їх визначення для загального випадку пов'язано зі значними складнощами. У зв'язку з цим в гідродинаміці користуються гіпотезою стаціонарності, згідно з якою всі гідродинамічні сили, обумовлені в'язкістю рідини, вважаються незалежними від історії руху [4].

Зазвичай сили та моменти, які виникають під дією вітру, хитавиці та течії вважаються зовнішніми. Але відомо, що вони виникають в результаті руху середовища відносно МРО або руху МРО відносно середовища, що є одним і тим самим згідно з законом оберненості руху. Тому сили вітру, хитавиці та течії будемо відносити до реактивних, бо вони є такими по своїй фізичній природі.

До зовнішніх сил та моментів відносять сили тяжіння та спливання, силовий вплив гнучкого зв'язку (ГЗ) – кабель-троса, а також інші чинники, наприклад, сили та моменти, які виникають внаслідок взаємодії МРО з іншими об'єктами.

Сили та моменти ГЗ виникають в результаті взаємодії ГЗ з рідиною, яка передається на МРО в точці його закріплення.

Сили та моменти, які діють на МРО, можуть як забезпечувати керований, так і викликати некерований його рух.

Керований рух МРО у складі підводного комплексу може здійснюватись під впливом як мінімум одного з наступних чинників:

- активна взаємодія з навколишнім середовищем рушіїв (рушійна сила);
- пасивна взаємодія з навколишнім середовищем несучих поверхонь, рулів, хвостового оперення тощо (реактивна сила);
- кероване застосування сил тяжіння та спливання, яке здійснюється баластною системою для поступального руху та кренодиферентною системою для оберткового руху (зовнішня сила);
- під впливом ГЗ, кероване випускання/підбирання ГЗ може викликати відповідну бажану зміну кінематичних параметрів МРО (зовнішня сила).

Некерований рух МРО може виникати під впливом як мінімум одного з наступних чинників:

- паразитні впливи рушійних пристроїв, так, наприклад, обертання маршового гребного гвинта створює окрім керуючої сили в на-

прямку дії гвинта також момент, який може викликати крен МРО (рушійна сила);

- пасивна взаємодія з навколишнім середовищем корпусу МРО та інших елементів, встановлених на ньому, в тому числі внаслідок вітрових та хвильових збурень, а також течії (реактивна сила);

- некерований вплив сил тяжіння та спливання (прийняття або скидання вантажу, зміна густини рідини) (зовнішня сила);

- під впливом ГЗ, який постійно приєднано до МРО; так, після керованого випускання/підбирання ГЗ залишається приєднаним до МРО і продовжує впливати на його рух, при цьому в багатоланкових підводних комплексах до МРО може бути приєднано декілька ГЗ (зовнішня сила);

- паразитний вплив, який виникає, наприклад, при роботі МРО та технологічного обладнання внаслідок їх взаємодії з рідиною, ґрунтом або іншими об'єктами (зовнішня сила), наприклад, як сила реакції зв'язку системи «об'єкт – маніпулятор – ПА».

Сили та моменти, які викликають керований рух МРО, називають керуючими, некерований – збурюючими.

Збурюючи сили та моменти, як правило, важко піддаються вимірюванню і у зв'язку з цим залишаються невизначеними.

Сукупність керуючих впливів, які надходять до рушійних пристроїв та стернових приводів ТПА, утворюють вектор керування або множину керуючих впливів МРО:

$$U = \{u_1, u_2, \dots, u_j, u_{j+1}, \dots, u_m\}.$$

Механічний зв'язок між МРО у складі підводного комплексу призводить до їх взаємного впливу один на одного. Цей вплив визначається силами натягу від ГЗ, та моментами, які ці сили створюють.

Узагальнену структуру математичної моделі ТПА представлено на рис. 2.

Матриця V_s утворюється на основі вектору швидкості течії по відношенню до БСК $\vec{v}_s$:

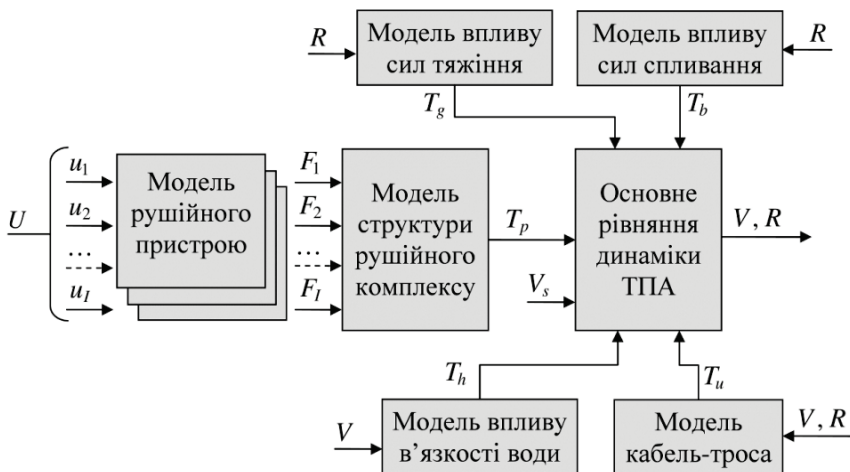


Рисунок 2 – Структура імітаційної моделі телекерованого підводного апарата

$$V_s = [\bar{v}_s \ 0_{1 \times 3}]^T.$$

Матриці T_h , T_g , T_b , T_u , T_p складаються з сил та моментів відповідно гідродинамічних впливів, тяжіння, спливання, гнучкого зв'язку та шумного комплексу відповідно. Їх сума утворює матрицю рівнодіючих сил та моментів T , яка є входом основного рівняння динаміки ТПА (1):

$$T = T_h + T_p + T_g + T_b + T_u,$$

Застосування запропонованої структури дає змогу створювати імітаційні моделі ТПА різних конструкцій за модульним принципом. В основі структури лежить основний закон динаміки МРО як твердого тіла, що рухається в потоці рідини. Модульний принцип дає змогу включати до складу моделюючого комплексу необхідні складові, які будуть моделювати шумні, реактивні та зовнішні силові впливи.

Список літератури:

1. Dudykevych V., Blintsov O. Tasks statement for modern automatic control theory of underwater complexes with flexible tethers // Eureka: Physics and Engineering. 2016. № 5. P. 25–36. doi: 10.21303/2461-4262.2016.00158
2. Бухгольц Н. Н. Основной курс теоретической механики. Кинематика, статика, динамика материальной точки : изд. 6 перераб. и доп. С. М. Таргом. М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1965. Ч. 1. 468 с.
3. Вагущенко Л. Л., Цымбал Н. Н. Системы автоматического управления движением судна : 3-е изд., перераб. и доп. Одесса : Феникс, 2007. 328 с.
4. Пантов Е. Н., Махин Н. Н., Шереметов Б. Б. Основы теории движения подводных аппаратов. Л. : Судостроение, 1973. 216 с.

УДК 629.584

МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ БУКСИРНОЇ ЛЕБІДКИ КОМПЛЕКСУ З ПІДВОДНИМ АПАРАТОМ

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

Безлюдні підводні апарати широко застосовуються в багатьох сферах, пов'язаних з освоєнням Світового океану, наприклад, при дослідженні морського дна, нафтогазових пошукових роботах, рятувальних операціях і т.д. Для виробництва ряду підводних робіт більш ефективними вважаються безлюдні підводні апарати, що пов'язані з надводним кораблем кабелем або кабель-тросом: телекеровані, що буксируються або прив'язні апарати. Такі безлюдні підводні апарати отримують по кабелю безперервне електропостачання і сигнали управління з надводного корабля, що збільшує робочу глибину і час підводних робіт на відміну від автономних апаратів. По кабель-тросу до надводного корабля надходить інформація про досліджуваний об'єкт. Однак кабель-трос здійснює вплив на безлюдний підводний апарат, тому повинні визначатися і враховуватися форма кабель-тросу і його розподілені натягу не тільки в поточний момент часу, але і з попередженням для виключення можливості аварійних ситуацій.

При наявності кабель-троса в керованій системі необхідна його математична модель, що дозволяє ефективно розраховувати форму і натягу. Для дослідження руху кабель-троса застосовуються моделі у вигляді неростяжимою або розтяжною гнучкою або пружною нитки. Для вирішення систем рівнянь даних моделей вдаються до чисельних методів, так як аналітично рішення знаходяться тільки в небагатьох приватних випадках. При використанні моделі кабель-троса в вигляді неростяжимої гнучкої нитки доводиться виконувати умови нерозтяжна кабель-троса, що ускладнює вирішення і призводить до збільшення часу обчислень. Тому є потреба в розробці моделей руху кабель-троса з менш витратною чисельною реалізацією.

При цьому потрібно враховувати, що такий же вплив здійснюється на кабельну лебідку, яка обирає або стравлювати кабель-трос. Тому питання синхронної роботи комплексу «кабельна лебідка – кабель-трос – підводний апарат» підсилює актуальність цього напряму наукових досліджень.

Мета дослідження – дослідження режимів роботи автоматизованої кабельної лебідки для дистанційної керованого підводного апарату для підвищення ефективності проведених підводних робіт і досліджень шляхом вдосконалення моделі функціонування кабельної лебідки.

Для досягнення поставленої мети в під час досліджень вирішені наступні основні завдання:

- визначені основні напрямки в області створення кабельних лебідок для дистанційно керованих підводних апаратів;
- виконано аналіз сучасних рішень побудови систем керування режимами роботи кабельних лебідок для дистанційно керованих підводних апаратів;
- побудова математичної моделі керування режимами роботи кабельної лебідки для дистанційно керованого підводного апарату.

Науково-прикладна задача автоматизації роботи системи керування режимами роботи кабельної лебідки для дистанційно керованого підводного апарату вирішувалася в рамках новітніх концепцій і сучасних технологій створення засобів морської робототехніки. При виконанні досліджень застосовувалися методи моделювання елементів системи в середовищі Matlab – Simulink.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в подальшому розвитку науково-методологічних основ створення засобів морської робототехніки

Отримала подальший розвиток математична модель функціонування системи керування режимами.

УДК 629.584

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ПРИВОДУ РУШИЙНО-КЕРМОВОГО ПРИСТРОЮ САМОХІДНОГО ПІДВОДНОГО АПАРАТУ

Автор: О.В. Глуценко, магістрант, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Зараз дослідження світового океану стає все більш актуальною і важливою задачею в сучасному світі. Завдяки сучасним технологіям істотно зросли можливості для освоєння.

Пріоритетним є застосування незаселених підводних апаратів. Автономні незаселені апарати виключають присутність людини в небезпечних середовищах. Відсутність в підводних апаратах даного типу систем життєзабезпечення людини істотно зменшують їх в габаритах, що збільшує їх прохідність в важкодоступних місцях, а також мають інші переваги.

Питання створення якісного математичного опису є найважливішим в проектуванні незаселених підводних апаратів. У цій сфері працюють спеціалізовані відділи суднобудування, як зарубіжні і вітчизняні.

При проектуванні підводних апаратів необхідно проводити велику кількість експериментів саме на практиці, тобто в реальних умовах або наближених до них, що є, фінансово витратним. Виходячи з цього, виникає необхідність створення спеціалізованих інструментів, що дозволяють проводити експерименти в напівнатуральному режимі, коли об'єктом управління для підводного апарату є його математична модель. Даний підхід дозволяє знизити витрати і збільшити швидкість отримання результатів.

Завданням роботи є розробка конструкції рушійно-кормового пристрою, розробка структурно-функціональної та кінематичної схеми, побудова математичної моделі руху апарата.

Мета роботи – розрахувати параметри регуляторів системи автоматичного управління рухом телекерованого підводного апарату з інтервальними параметрами. У процесі дослідження була побудована математична модель системи автоматичного управління рухом телекерованого підводного апарату з інтервальними параметрами; були розроблені методики параметричного синтезу регуляторів, що забезпечують задані значення показників якості регулювання; вирішена задача параметричного синтезу регуляторів досліджуваної системи. В результаті дослідження були розраховані параметри регуляторів системи автоматичного управління рухом телекерованого підводного апарату, що забезпечують задану якість регулювання. Результати досліджень дозволяють спростити процес проектування і структуру досліджуваної системи, а також підвищити надійність її роботи.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в подальшому розвитку науково-методологічних основ створення засобів морської робототехніки.

В ході виконання даної роботи був освоєний процес проектування систем автоматичного управління рухом підводного апарата. Для досягнення мети було вирішено ряд завдань: розроблена структура математичної моделі процесу руху апарату; на підставі імітаційного моделювання обтікання корпусу апарату розраховані значення гідродинамічних параметрів; розроблені методики синтезу регуляторів для систем з інтервальними параметрами; в якості прикладу застосування розроблених математичної моделі і методик була вирішена задача параметричного синтезу регуляторів системи рухом підводного апарата.

Список літератури:

1. Булатов В. И. Рулевые устройства: учебное пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2009. 52 с.
2. Анучин О. Н., Емельянцева Г. И. Интегрированные системы ориентации и навигации для морских подвижных объектов.- СПб.: изд. ЦНИИ «Электроприбор», 2003г., стр. 389.
3. Лукомский Ю. А., Корчанов В. М. Управление морскими подвижными объектами: Учебник. СПб.: Элмор, 1996.

УДК 629

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ПІДВОДНОЇ ОБСТАНОВКИ НА МІЛКОВОДНИХ АКВАТОРІЯХ

*Автори: В.І. Клічановська, студентка; А.С. Сіривчук, ст. викладач,
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна*

Мілководні акваторії – це прибережні морські та річкові водні шляхи, акваторії портів та їхні зовнішні рейди і якірні стоянки, акваторії озер і водосховищ. Вони мають глибини до 50-60 метрів й активно використовуються для транспортних і пасажирських перевезень, для видобутку енергоносіїв та будівельних матеріалів.

Для мілководних акваторій доцільно використовувати автономні підводні апарати з буксированими радіобуями (АПА-РБ) (рис 1). Такий підводний апарат вільний від недоліків «класичних» АПА (неможливість реалізації режиму реального часу) та недоліків «класичних» ППА (обмежений радіус робочої зони та необхідність постійного залучення надводного судна забезпечення). До того ж АПА-РБ має значно меншу собівартість за рахунок малої робочої глибини та можливості оперативного ручного керування підводними місіями і передачі інформації в режимі реального часу.

Основними підводними місіями засобів підводної робототехніки на мілководді є:

- оперативний моніторинг підводної обстановки з метою виконання природоохоронних робіт в портах та суднохідних каналах;
- забезпечення навігаційної безпеки під час руху судна;
- пошуку та інспекції затонулих об'єктів відео-, гідроакустичними і магнітометричними приладами;
- супровід водолазних та аварійно-рятувальних робіт;
- обстеження гідротехнічних споруд портів в реальному часі з цифровим фото, відео та картографічним документуванням;
- виконання відбору проб води та ґрунту для експертного аналізу;
- виконання простих технічних робіт за допомогою маніпулятору. Наприклад підйом малорозмірних об'єктів та установка на донну поверхню навігаційних або екологічних приладів та апаратури.

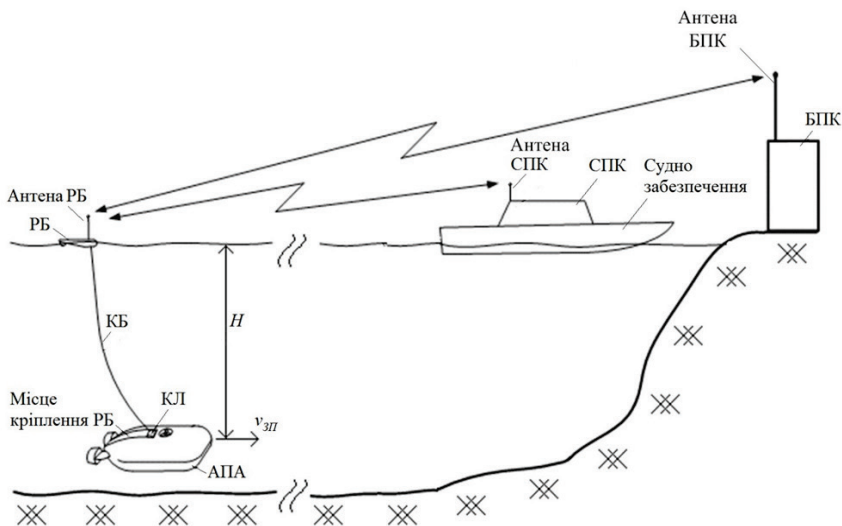


Рисунок 1 – Структура використання АПА-РБ

Ключовим питанням щодо створення АПА з РБ є енергетичне забезпечення його місій, оскільки продуктивність Q (відношення обстеженої площі морського дна S до витрат часу T на виконання місії) використання апарата-робота напряму залежить від енергоємності його акумуляторної батареї E . Очевидно, що у загальному вигляді ця величина залежить від швидкості руху АПА v та гідродинамічного опору системи «АПА – КБ – РБ».

Для вибору акумуляторних батарей необхідно проаналізувати режими роботи підводного апарата:

- R1 – вихід на початок робочої зони та повернення в місце базування, даний режим повинен забезпечувати мінімальні витрати енергії. В даному режимі в апараті використовується лише навігаційна та рушійно-рульова система в режимі оптимального руху;
- R2 – обстеження робочої зони, в даному режимі, ввімкнені всі вимірювальні системи підводного апарата, рушійно-рульовий комплекс працює в номінальному режим, даний режим є найбільш тривалим;
- R3 – ідентифікація та документування об'єкта. Ввімкнено все обладнання, рушійно-рульовий комплекс працює в режимі підрулювання;

– R4 – супровід. Необхідно передбачити супровід при максимальній швидкості підводного апарата, з ввімкненими системами спостереження.

Кожен підводний апарат, з позицій енергоспоживання, має декілька режимів роботи. Споживана потужність апарата в кожному і-тому режимі має наступний вигляд [1]:

$$N_i = \frac{k_{TRi} \sum_{j=0}^n N_{TRj} + k_{Vi} \sum_{j=0}^v N_{Vj} + k_{Ci} \sum_{j=0}^m N_{Cj} + k_{Ti} \sum_{j=0}^k N_{Tj} + k_{Li} \sum_{j=0}^l N_{Lj}}{\eta_{SQ}}$$

де N_{TR} – споживана потужність двигунів маршового руху, що долають силу гідродинамічного опору підводного апарата, кабель-буксиру та РБ по відповідній осі; N_V – споживана потужність вертикальних двигунів, що забезпечують компенсацію дій інших сил, що залежать від масо-габаритних показників апарата; N_C , N_T , N_L – споживана потужність інших бортових систем, що не залежать від масо-габаритних показників апарата; до них відносяться: вимірювальне обладнання, фото- та відеокомплекс, навігаційна система підводного апарата; k_{Vi} , k_{Ci} , k_{Ti} , k_{Li} , k_{TRi} – коефіцієнти одночасної роботи обладнання відповідної групи енергоспоживачів в і-тому режимі, η_{SQ} – коефіцієнт корисної дії вторинного джерела енергії.

В якості первинного джерела енергії пропонується використання свинцево-кислотних та літій-залізо-фосфатних акумуляторних батарей (АКБ), оскільки вони є найменш чутливими до перепадів температур та не втрачають ємності при низьких температурах.

Для оптимального вибору АКБ будемо спиратися на ціну, масу та об'єм, оскільки дані характеристики значно впливають на проектування апарата.

Для визначення оптимального АКБ необхідно розрахувати коефіцієнти оптимальності по ціні k_c , масі k_m та об'єму k_o . Один акумулятор приймається за еталонний, а коефіцієнти розраховуються відносно нього, як відношення еталонного до існуючого. Загальний коефіцієнт визначається за формулою:

$$k = k_o \cdot k_{\text{ц}} \cdot k_{\text{м}}$$

Оптимальним вибором приймається той результат, добуток коефіцієнтів якого є найбільшим. Як показує практика то використання літій-залізо-фосфатних акумуляторних батарей є більш ефективним по масогабаритним показникам, а свинцево-кислотні по економічним.

Висновок

Використання автономних підводних апаратів з керуванням з радіобуєм на мілководних акваторія є перспективним засобом моніторингу підводної обстановки, так як вони мають велику дальність роботи та можливість передавати відео та гідроакустичну інформацію в режимі реального часу.

Оскільки підводний апарат має автономне джерело живлення, то одним з найважливіших моментів є саме оптимальний вибір акумуляторних батарей. Для визначення необхідної ємності акумуляторних батарей було виділено основні режими роботи автономного підводного апарата. Також запропоновано метод вибору оптимальних акумуляторних батарей з розрахунку їх цінкових та масогабаритних показників.

Список літератури:

1. Блінцов В.С., Сіривчук А. С. Сучасні задачі автоматизації керування автономним ненаселеним підводним апаратом з радіобуєм. Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування. 2017. №3(470). С 56-62.
2. Blintsov V., Maidaniuk P., Sirivchuk A. Improvement of technical supply of projects of robotized monitoring of underwater conditions in shallow water areas. EUREKA: Physics and Engineering. 2019. 3. с 41-49.
3. Блинцов В. С., Магула, В. Э. Проектирование самоходных привязных подводных систем. Киев: Наукова думка, 1997. 140.

СЕКЦІЯ 2. ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ТА АВТОМАТИКА ПІДВОДНИХ СИСТЕМ І КОМПЛЕКСІВ

УДК 629.584

АВТОМАТИЗАЦІЯ ГРУППОВОГО УПРАВЛЕННЯ АВТОНОМНИМИ НЕОБИТАЕМЫМИ ПОДВОДНЫМИ АППАРАТАМИ ПОИСКОВОГО ТИПА

Автор: Л.Т. Алоба, преподаватель, Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев, Украина

При использовании одного гигантского автономного необитаемого подводного аппарата (АНПА), потеря АНПА означает отказ всей миссии (рис.1). Но, при применении группы АНПА имеет различные преимущества: Поскольку АНПА в группе намного меньше и проще гигантского АНПА, стоимость энергии превосходит меньше. Также использует преимущества большого параллелизма и особенно подходит для крупномасштабных задач. Она может выполнять задачи, связанные с множеством целей, распределенных в широком диапазоне в окружающей среде, а поиск группой АНПА значительно экономит время. Они легче отремонтироваться, более оптимальные варианты

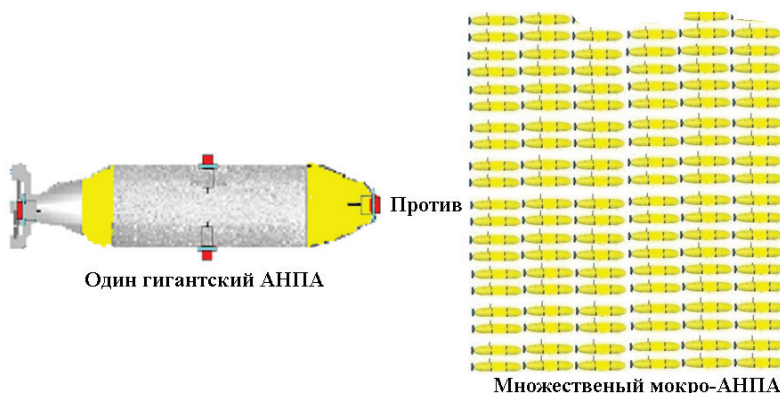


Рисунок 1 – Один гигантский АНПА против группы АНПА

для групповых действий и легко развертываются и упаковываются (свертываются) после работы.

Для моделирования поведения групп АНПА предлагается применение концепций многоагентных систем [1] для группового управления АНПА – как возникает коллективное поведение мульти – АНПА системы от взаимодействия локального АНПА – АНПА и АНПА – среды на алгоритмы управления движением которые строятся с использованием теории искусственного интеллекта [2] с заимствованием законов функционирования биологических систем живой природы [3].

АНПА группы должны быть в состоянии организовать себя для выполнения конкретных задач в сложных операциях. При этом должны быть учтены архитектура АНПА, распределение задач между ними, стратегия управления, локализация задач управления и организация их группового согласованного движения. Эффективность применения групп АНПА зависит от выбранного метода управления.

Более экономичным способом создания мобильного навигационного комплекса для реализации группового управления АНПА является разработка гидроакустических навигационных систем с синтезированной длинной базой (ГАНС СДБ) используя связи «ведущей – ведомой» системы с судно-носителями и/или поверхностными буями, иногда с расстояния до 5 км.

При системе с разнородными АНПА, ведущий (с надежной навигационной системой) получает точную позицию ДСГП, не поднимаясь на поверхность, чтобы периодически откалибровать свои позиции, что может ухудшить всю стратегию координации группы и увеличить энергию, для взлета до поверхности.

Другие АНПА, оснащенные низкоточными датчиками навигационного счисления (НС), получают информацию от ведущего, и объединяют информацию со своей собственной информацией АНПА в рамках системы оценки, чтобы улучшить свои оценки положения.

Преимущества такой системы – повышение точности навигации, оптимальное покрытие датчика, надежность, эффективность и гибкость [4]. В результате, вся группа с разнородными АНПА может удобно реализовать совместный сценарий поиска с оптимальным покрытием датчика.

Задача автоматизации заключается в автоматическом управлении одиночным АНПА как элементом группы и автоматическом управлении группой АНПА. Таким образом, актуальной прикладной научной задачей автоматизации управления каждым отдельным АНПА как агентом группы подводных аппаратов является синтез интеллектуальной системы автоматического управления его движением в режимах группового перехода (САУ ГП). Такая система должна устранять столкновения или чрезмерное увеличение расстояния между соседними АНПА движущимися в непосредственной близости друг к другу, что может вызвать угрозу исчезновения связи и распада группы и обеспечивать выполнение группой подводной работы в безаварийной обстановке.

Для выполнения морской поисковой миссии, базовая технология автоматизации морской безэкипажный комплекс (МБК), была создана в качестве теоретической основы для разработки обобщенной структуры комплексной системы автоматического управления (САУ) для выполнения морской поисковой миссии [5]. Полученный алгоритм служит основой для синтеза обобщенной структуры САУ МБК при выполнении подводных поисковых миссий.

Доставку группы АНПА в район проведения поисковых работ целесообразно выполнять с помощью безэкипажных надводного судна (БНС). Это исключает необходимость каждом АНПА выполнять дальний морской переход к заданной акватории поиска, позволит использовать АНПА с относительно низким энергообеспечением, которое достаточно для маневрирования у БНС и выполнения собственно подводной поисковой миссии.

Современный опыт создания и использования морской робототехнической техники позволяет реализовать разработку базовой технологии для задач управления автоматизацией для морских подводных поисковых миссий. Начиная с автоматическим переходом МБК из порта отправления в назначенную точку соответствующий морской район, где происходит автоматический запуск группы АНПА с борта БНС до заданной морской точки. После этого произойдет автоматическое формирование (самоорганизация) выпущенных АНПА группы

для коллективного перехода в рабочую зону, где будет выполняться подводная миссия. Здесь, участие каждым АНПА группы от начального положения для скоординированного пространственного движения по заданной траектории поиска выполняется. После выполнения поисковой миссии происходит автоматическая сборка (самоорганизация), после которой происходит групповой переход к порту.

Групповое управление АНПА затруднено из-за неопределенности в динамике и коммуникационных ограничений в условиях окружающей среды. По этой причине целесообразно синтезировать интеллектуальную систему автоматического управления, которая позволит им плавать, не сталкиваясь друг с другом и не удаляясь слишком далеко друг от друга, чтобы не потерять связь между соседними АНПА.

Для решения этой проблемы предлагается состав и конфигурация блока сенсоров внешней среды (СВС), который позволяет АНПА идентифицировать присутствие соседей в непосредственной близости и направление их движения. Блок «Модель навигационной ситуации» и блок «Идентификатор угроз навигации» также введена в его структуру, интеллектуальная система автоматического управления в режиме группового перехода, чтобы исключить угрозу аварийного столкновения соседних АНПА и контролировать расстояния между ними для поддержания связи между АНПА.

Интеллектуальная система обеспечивает стабилизацию скорости пространственного движения АНПА, курса и глубины его погружения (здесь управление глубины не рассмотрена, но может быть необходим в аварийных ситуаций!) И реализует алгоритмы сцепления и сцепления для обеспечения согласованного движения соседних АНПА.

Интеллектуальная система автоматического управления в режиме группового перехода основана на принципе согласованного управления с помощью системы нечеткой логики. Реализация контроллера нечеткой логики (КНЛ) в Simulink протестирована и представлена в другой научной статье. Чтобы получить лучший результат с использованием управления нечеткой логикой (КНЛ), можно настроить отображение функции принадлежности, а также количество правил. По сравнению, результаты показывают, что надежность КНЛ лучше, чем ПИД регулятор.

Качества процессов управления могут быть улучшены за счет использования более совершенных подводных датчиков расстояния и оптимизации параметров САУ ГП для обеспечения устойчивости согласованного пространственного движения АНПА.

Применение нечеткого САУ ГП для этих целей требует лишь использования небольшого количества локальных правил, которые связывают требуемую скорость движения АНПА, а также угловое отклонение и угловую скорость АНПА [6].

Для оценки степени угрозы столкновений между агентами группы АНПА предлагается в состав САК для каждого АНПА ввести специальные блоки – блок «Модель навигационной обстановки» (МНО, в англоязычной литературе – Navigation Situation Model, NSM) вокруг соответствующего АНПА и блок «Идентификатор навигационных угроз» (ИНЗ, в англоязычной литературе – Navigation Threat Identifier, NTI) для этого АНПА. Строить указанные блоки целесообразно с привлечением теории нечеткой логики [7].

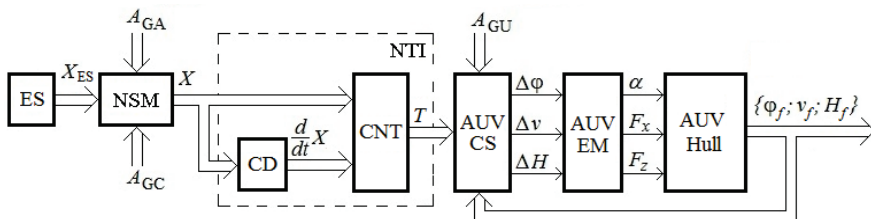


Рисунок 2 – Обобщенная структура САУ одиночным АНПА как агентом группы

Блок сенсоров внешней среды (СВС) содержит набор из S сенсоров группового движения (сенсоры дистанций $X_{3C} = \{X_{3CI}; \dots; X_{3Ci}; \dots; X_{3CS}$ с целями, которые проявляются в секторах их измерений). На выходе блока СВС формируются множества дистанций до соседних АНПА, причем каждая множество сигналов X_{3CI} может содержать несколько дистанций, если в секторе измерений i -го датчика находится несколько АНПА-соседей. Курсовые углы на эти цели определяются распо-

ложением соответствующего сенсора на корпусе АНПА в связанной системе координат [8].

Блок САУ АНПА обобщает вычисленные рекомендации, используя их как корректирующие сигналы для генерирования управляющих воздействий $\{\Delta\varphi; \Delta v; \Delta H\}$ на исполнительные механизмы (ИМ). Вышеупомянутые управляющие воздействия, приложенные к корпусу АНПА, обуславливают появление фактических переменных пространственного движения нашего АНПА – $\{\varphi_{\Phi}; v_{\Phi}; H_{\Phi}\}$, которые в качестве сигналов обратной связи используются в САУ АНПА.

Понятие выравнивания предусматривает задачи трех параметров автоматического движения группы АНПА:

$$\text{выравнивание когда} \quad A_{GU} = \{\varphi_G; v_G; H_G\}, \quad (1)$$

$$\text{когезия когда} \quad A_{GC} = \{x_i \leq x_{\max} \mid i=1, \dots, S\}, \quad (3)$$

$$\text{и адгезия когда} \quad A_{GA} = \{x_i \geq x_{\min} \mid i=1, \dots, S\}, \quad (2)$$

В качестве дальномеров АНПА могут быть использованы подводные ультразвуковые, лазерные или электрические сенсоры, которые должны обеспечивать системе автоматического управления подводного аппарата чувствительность к соседним АНПА, движущихся в составе группы [9].

$$S1 \Rightarrow \inf \{X_{11}, X_{12}, X_{13}, \dots, X_{2n}\} = X_{11}$$

$$S2 \Rightarrow \inf \{X_{21}, X_{22}, X_{23}, \dots, X_{2n}\} = X_{21}$$

$$S3 \Rightarrow \inf \{X_{31}, X_{32}, X_{33}, \dots, X_{3n}\} = X_{31}$$

$$S4 \Rightarrow \inf \{X_{41}, X_{42}, X_{43}, \dots, X_{4n}\} = X_{41}$$

Блок МНО выдаст сигнал обнаруженной дистанции и производные в блоке ИНУ, где будет присутствовать фuzziфикации для коррекции и отправить рекомендацию АНПА маневрировать, чтобы либо избежать столкновения, либо заставить двигаться поближе, чтобы находиться в группе.

Блок ИНУ оценивает и вычисляет навигационные степени угрозы столкновения с АНПА – соседями и/или угрозу потери контактов с группой АНПА в случае горизонтального маневра согласно зависимостей (1) – (3), а также вычисляет прогноз динамики движения группы выявленных АНПА-соседей. Блок ИНУ предлагается строить на базе нечеткой логики. Выходным сигналом блока ИНУ есть вектор рекомендаций для маневрирования во избежание угроз $U = \{U_{11}; \dots U_{21} \dots U_{SI}\}$, где $U_i = f(\varphi_i; v_i; H_i)$ – рекомендация по маневру своего АНПА во избежание столкновения или недопустимого удаления с i -м АНПА соседом.

Синтез блоков основан на нечеткой логической системе, которая состоит из точных входов, точных выходов и нечетких правил. Был предложен синтез для определения расстояний между аппаратами и производными расстояний, таким образом настраивать систему и маневрировать избегание столкновений между соседними аппаратами во время операций.

С СВС, АНПА может обнаружить соседей, которые могут вызвать столкновения, а также статические и динамические препятствия в диапазоне (зоне действия). Сенсоры очень эффективны в динамических условиях. Реализация КНЛ в Simulink протестирована и представлена, как видно в [21].

Определяя модульный характер интеллектуальный САУ АНПА, исследование СМК позволяет группу однородных или разнородных АНПА, где каждый АНПА оснащен различными наборами приводов (конфигурация подруливающего устройства, рули направления и другие).

Эффективность группы в сотрудничестве во многом зависит от архитектуры. Для СМК предлагается многоуровневая функциональная иерархическая архитектура для группового управления, где есть гибридное управление для каждого АНПА в гетерогенной / гомогенной контрольной группе на рисунке 2 в качестве структуры структур управления для каждого АНПА, где один из АНПА настроены как ведущий, а остальные как ведомые. Состав групповых контроллеров кодирует логику группового управления.

Чтобы обеспечить устойчивость миссии в случае возможной потери АНПА, каждый АНПА может функционировать в качестве ведущего, если возникнет такая необходимость, хотя в любое время ведущим может быть только один АНПА.

Процедуры самоорганизации АНПА для создания группы на практике определяют архитектуру группы АНПА на основе целей задачи, для которой они созданы (в данном случае для поиска), а также учитывают среду, в который будет работать. При проектировании архитектуры информация о количестве АНПА для работы с задачей и типе используемого управления (в данном случае, в децентрализованном управлении) одинаково важна при проектировании архитектуры.

Самоорганизации происходит двумя способами:

- по параметру – способность группы координировать свои действия на основе показаний сенсорных подсистем.
- в пространстве – это способность группы целенаправленно контролировать размещение и движение АНПА в пространстве.

С предлагаемой архитектурой управления группой АНПА могли не только реализовывать согласованные стратегии ведущего-ведомого во всей группе, но также легко обрабатывать неоднородность в многоуровневой архитектуре внутри отдельных АНПА.

Список литературы:

1. Singhal, A.; Pallav, P.; Kejriwal, N.; Choudhury, S.; Kumar, S.; Sinha, R. Managing a fleet of autonomous mobile robots (AMR) using cloud robotics platform. In Proceedings of the 2017 European Conference on Mobile Robots (ECMR), Paris, France, 6–8 September 2017; pp. 1–6
2. Steven M. LaValle. PLANNING ALGORITHMS. 2006. – 1007pp. <http://planning.cs.uiuc.edu/book4.pdf>
3. Миллер, П. Роевой интеллект: Муравьи, пчелы и птицы способны многому нас научить.// National Geographic Россия. – 2007г. – № 8. – С. 88-107
4. G. Xiao, B. Wang, Z. Deng, M. Fu, and Y. Ling, “An acoustic communication time delays compensation approach for master–slave AUV cooperative navigation,” IEEE Sensors J., vol. 17, no. 2, pp. 504–513, Jan. 2016.
5. Volodymyr Blintsov, Leo Tosin Aloba. Control automation of maritime unmanned complex with a group of autonomous underwater vehicles.

(2019), «EUREKA: Physics and Engineering» Number 4. P. 54-62.
DOI: 10.21303/2461-4262.2019.00940
<http://eu-jr.eu/engineering/article/view/940/936>

6. Christopher Cain and Alexander Leonessa. Validation of Underwater Sensor Package Using Feature Based SLAM. Sensors 2016, 16(3), pp. 1-29 <https://doi.org/10.3390/s16030380>

7. Zhanna Yu. Burunina, Leo T. Aloba, Hanna S. Hrudinina., Mathematical modeling of the automatic control system for an autonomous underwater vehicle as a group agent./«Shipbuilding and Marine Infrastructure», №1 (9) – 2018. – P. 29-35.
<http://smi.nuos.edu.ua/article/view/142677/140183>

8. Блінцов С. В. Теоретичні основи автоматичного керування автономними підводними апаратами // Миколаїв: Вид-во НУК, 2014. – 242 с.

9. Distance Keeping for Underwater Vehicles – Tuning Kalman Filters Using Self-Oscillations
https://bib.irb.hr/datoteka/412520.Miskovic_et_al_OCEANS09_final_paper.pdf

УДК 629

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ІНФОРМАЦІЙНОГО ОБМІНУ БУКСИРУВАНОГО ПІДВОДНОГО АПАРАТА

Автори: А.М. Войтасик, ст. викладач; А.С. Сірієчук, ст. викладач; О.П. Клочков, ст. викладач; Д.В. Залізник, магістрант, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Питання розробки нових зразків підводної техніки відносяться до актуальних питань розвитку України як морської держави. Розробка підводних буксируваних апаратів (БПА) утворює окреме прикладне наукове завдання, оскільки такі системи забезпечують високу продуктивність виконання пошукових, геологорозвідувальних та інших морських операцій цивільного призначення.

Актуальність роботи визначена розробкою БПА проекту «Глайдер». Основне призначення якого реалізація безлюдних підводних технологій на глибинах до 20 метрів. Серед складових елементів можна відзначити:

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

- прив'язний БПА проекту «Глайдер»;
- лебідку кабельного буксиру (КБ);
- систему автоматичного керування (САК).

Керування таким підводним апаратом (ПА) може здійснюватися як в ручному так і в автоматичному режимі. Передача команд керування від поста керування (ПК) до ПА реалізовується за допомогою модулю інформаційного обміну (МІО). Таким чином, питання розробки системи інформаційного обміну (СІО) БПА проекту «Глайдер» є актуальним питанням.

Узагальнену структуру СІО БПА проекту «Глайдер» (рис. 1) можна розділити на дві основні частини – ПК та ПА.

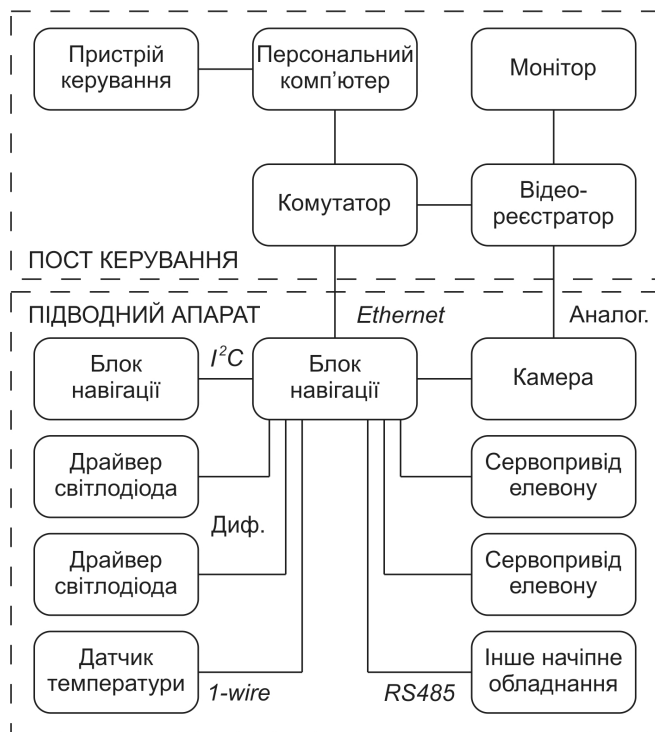


Рисунок 1 – Структура СІО БПА проекту «Глайдер»

ПК знаходиться на судні-буксирівнику (СБ). Основною частиною ПК є персональний комп'ютер для керування апаратом та збереження отриманого відеоряду. Керування апаратом відбувається за допомогою пристрою керування, в якості якого може виступати *USB* джойстик серійного виробництва.

Для того щоб відео зображення мало якомога менше запізнення використовується аналогова відеокамера, тому на посту керування встановлюється реєстратор, що передає відеозображення безпосередньо на монітор, а також переводить його в цифровий формат та передає на персональний комп'ютер, для архівування відеоряду [1].

Для інформаційного обміну між основними елементами буксированої підводної системи, що використовують інтерфейс *Ethernet* використовується комутатор.

Основним елементом інформаційного обміну є бортовий комп'ютер. Його задачею є збір інформації від датчиків якими обладнаний підводний апарат (гіроскоп, магнітометр, акселерометр, датчик температури, зворотній зв'язок від сервоприводів та навігатора) та передача її на пост керування, а також розподіл керуючими сигналами між виконавчими механізмами апарата.

Блок навігації складається з трьохосьових гіроскопа, магнітометра та акселерометра. Та оскільки знаходяться в одному міцному корпусі використовують інтерфейс *I²C*. Крім того для навігації використовується датчик тиску з аналоговим виходом.

Для керування елевонами було обрано сервоприводи з можливістю обміну інформацією через інтерфейс *RS485*. Для підключення зовнішнього навігатора також передбачено інтерфейс *RS485*, так як більшість такого обладнання підтримує даний інтерфейс.

Керування світильниками відбувається за допомогою реле, що знаходяться в модулі інформаційного обміну та мають лише два режими: ввімкнено та вимкнено [2].

Висновки. Представлену в роботі структуру системи інформаційного обміну було покладено в основу систем керування серії буксированих підводних апаратів проекту «Глайдер» виробництва НУК ім. адм. Макарова. На сьогоднішній день, працездатність запропоно-

ваної системи повністю підтверджена результатами успішного проведення морських натурних випробувань.

Список літератури:

1. Войтасик, А.М. Розробка системи відеодокументування буксируваного підводного апарата проекту «Глайдер» [Текст] / А.М. Войтасик, П.О. Маріяничук // Підводна техніка і технології: Матеріали VII Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю В 2 ч.: – Миколаїв: НУК, 2017. – Ч.1 – С. 56-58.
2. Войтасик, А.М. Система освітлення буксируваного підводного апарата проекту «Глайдер» [Текст] / А.М. Войтасик, Ю.Г. Говорецька // Підводна техніка і технології: Матеріали VII Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю В 2 ч.: – Миколаїв: НУК, 2017. – Ч.1 – С. 49-52.

УДК 681.52: 629.5

**УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО
КЕРУВАННЯ АВТОНОМНОГО
НЕНАСЕЛЕНОГО ПІДВОДНОГО АПАРАТА**

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

Вступ. Сьогодні у провідних морських країнах світу створюються автономні ненаселені підводні апарати (АНПА), які суттєво відрізняються за архітектурно-конструктивним типом, масо-габаритними параметрами та глибинами застосування. Однак всі різновиди АНПА поєднує загальна властивість – здатність керованого траєкторного (плоского чи просторового) руху.

Сили, що діють на підводний апарат під час такого руху, визначають його динаміку та суттєво впливають на керованість апарата. Тільки маючи повні відомості про всі сили, що впливають на АНПА, а також про засоби керування ними, можна визначати умови, за яких можливою є побудова ефективних систем автоматичного керування апаратом [1].

Саме тому, останнім часом все більше уваги приділяють дослідженню та удосконаленню систем автоматичного керування русійно-стерновими комплексами (РСК) таких апаратів. Особливо актуальним

таке завдання є для АНПА з РСК типів: «гребний гвинт – стерно» та «гребний гвинт – поворотна насадка», які забезпечують покращену керованість підводного апарата.

Для успішного розв'язку цього завдання доцільно застосовувати методи математичного моделювання траєкторного руху апарата, враховуючи при цьому гідродинамічні характеристики РСК, що при криволінійному русі АНПА працює у косому потоці води. Зменшення упору та моменту на валу гвинта має нелінійний характер та впливає та точність заданого траєкторного руху АНПА. Тому, для підвищення точності систем автоматичного керування плоским маневровим рухом АНПА необхідно компенсувати відхилення упору від заданого значення та стабілізувати рух АНПА.

Мета і завдання. Провести дослідження нелінійних гідродинамічних характеристик рушійно-стернового комплексу (РСК), які впливають на точність плоского траєкторного руху автономного ненаселеного підводного апарата. Розробити математичні моделі роботи РСК типу «гребний гвинт – стерно» та «гребний гвинт – поворотна насадка», для імітації криволінійного руху АНПА. Дослідити плоский криволінійний рух АНПА з обраним типом РСК методом математичного моделювання.

Визначити залежності сил упору та моменту на валу гребного гвинта при роботі обраного рушійно-стернового комплексу у скошеному потоці води, на різних швидкостях руху АНПА. Встановлена залежність має слугувати теоретичною основою для синтезу систем керування АНПА підвищеної точності.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- удосконалити математичну модель плоского прямолінійного руху АНПА рівняннями рушійно-стернового комплексу типу «гвинт-стерно». Дослідити в системі Simulink зміни силових характеристик розробленого РСК на плоскій циркуляції АНПА в горизонтальній площині;
- удосконалити математичну модель плоского прямолінійного руху АНПА рівняннями роботи гребного гвинта в поворотній насадці у прямому і скошеному потоці води, та дослідити в системі Simulink зміни силових характеристик РСК при русі АНПА в горизонтальній площині;
- доповнити математичну модель плоского руху АНПА системою керування, що імітує траєкторний рух апарату. Синтезувати за-

лежності упору обраного РСК від швидкості руху апарата та кута потоку води, що набігає.

Математичне моделювання системи автоматичного керування автономного ненаселеного підводного апарата.

Математичне моделювання є ефективним інструментом для дослідження морських рухомих об'єктів. Математичне моделювання керованого руху АНПА представлено сукупністю інформаційних, електромеханічних та гідромеханічних систем як складових математичної моделі об'єкту керування, що взаємодіють між собою.

В даному випадку АНПА розглядається як тверде тіло, що рухається у воді під дією упору рушія і сприймає сили гідродинамічного опору з урахуванням приєднаних мас води у динамічних режимах [1].

При розробці математичних моделей елементів АНПА прийняті наступні загальні припущення, які не викривляють фізики явищ, що протікають в об'єкті дослідження [2, 3]:

- вода, як робоче середовище розглядається як ідеальна незбурена рідина;
- АНПА має відповідний рушій до ступені свободи;
- вектор тяги рушія та сили зовнішніх збурень прикладаються до центру мас АНПА і не створюють диферентів і кренів;
- насиченням магнітопроводів електродвигунів та нелінійними залежностями його механічних елементів нехтуємо;
- АНПА у воді має нульову плавучість.

Система рівнянь руху АНПА містить:

- рівняння динаміки, що описують поступальний рух центра мас які отримані на основі закону збереження кількості руху;
- рівняння динаміки, що описують обертовий рух твердого тіла відносно центра мас і отримані на основі закону збереження моменту кількості руху;
- кінематичні рівняння зв'язку кутових і лінійних швидкостей з кутовими координатами.

Гідродинамічні сили й моменти, що з'являються на корпусі АНПА внаслідок руху апарату відносно навколишнього середовища визначаються підсумовуванням власного руху і руху води.

В дослідженні у якості рушія розглядається гребний гвинт (ГГ), упор або сила тяги якого створюється за рахунок реакції води, що відкидається лопатами при його обертанні. Гребні гвинти дають змогу змінювати швидкість у широких межах, забезпечують простоту керування при високому коефіцієнті корисної дії. Зміна сили тяги гвинта можлива за рахунок варіації частоти обертання гвинта, що досягається зміною частоти обертання вала гребного електродвигуна.

Для визначення сили тяги гребного гвинта T уздовж осі вала, а також моменту Q на валу використовуються коефіцієнти K_T, K_Q – упору та моменту гвинта відповідно. Вказані коефіцієнти є безрозмірними динамічними характеристиками гвинта, представленими у вигляді кривих у функції від відносної ходи $J = 2\pi V / \omega D$, де V – поступальна швидкість ГГ, що називаються кривими дії гребного гвинта. Дані криві характеризують упор і момент при різних режимах роботи гвинта [2].

Математична модель руху АНПА по горизонтальній осі складається з системи рівнянь, що описують рух твердого тіла під дією упору горизонтального рушія, приводом якого є гребний електродвигун постійного струму незалежного збудження. Керування виконується шляхом прикладання до якоря двигуна відповідної напруги живлення. В якості гребного електродвигуна використано керований капсульований двигун внутрішній простір якого, для захисту від дії зовнішнього середовища заповнений рідким діелектриком [3].

Динаміку криволінійного руху АНПА, яка обумовлена роботою рушійно-стернового комплексу у косому потоці води, пропонується досліджувати за рахунок удосконалення математичної моделі прямолінійного руху підводного апарату рівняннями сил, що утворюються при відхиленні потоку води від співвісного напрямку, т.т. при повороті стерна або насадки на деякий кут.

Для визначення впливу зменшення упору та моменту на валу гребного гвинта на точність керування підводним апаратом розроблено математичну модель, що імітує заданий траєкторний рух АНПА в системі Simulink середовища Matlab. За результатами моделювання побудовано діаграму, що відповідає залежності упору гвинта від кута потоку води, що набігає та швидкості руху апарату, рис.1.

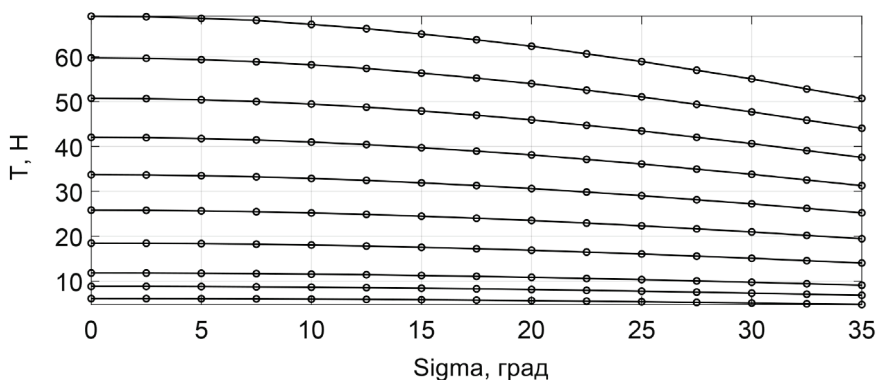


Рисунок 1 – Діаграма залежності упору від кута повороту насадки в діапазоні швидкості $[0,2..1]$ м/с

Наукова новизна отриманих результатів. Проведено аналіз основних режимів роботи АНПА та встановлено, що зміна кута та швидкості потоку води, що набігає впливає на силу упора гребного гвинта та на вектор результуючої сили, що призводить до значної нелінійності параметрів даного об'єкта.

Розроблено математичну модель функціонування рушійно-стернового комплексу АНПА типу «гвинт-стерно» у скошеному потоці, що набігає.

Розроблено математичну модель функціонування рушійно-стернового комплексу АНПА типу «гребний гвинт – поворотна насадка» у скошеному потоці, що набігає, та досліджено в системі Simulink зміну його силових характеристик на плоскій циркуляції АНПА в горизонтальній площині.

Висновки

1. В системі Simulink реалізовано математичну модель АНПА для дослідження плоского криволінійного руху з малими прискореннями, коли приєднаними масами води можна знехтувати.

2. Дослідження функціонування АНПА виконано для трьох режимів плоского траєкторного руху – кусково-ламанною траєкторією, траєкторією обходу перешкоди, та прямокутними галсами. Виявлено залежність упору РСК від швидкості руху АНПА та кута відхилення

поворотної насадки. Виявлено, що максимальне відхилення упору при швидкості руху 1 м/с та куті відхилення насадки 35° сягає 7,3 % [3].

3. За результатами моделювання побудовано тривимірну поверхню «упор РСК – швидкість потоку води – кут повороту насадки». Отримана тривимірна поверхня може бути включена до складу системи автоматичного керування АНПА для уточненого регулювання упору РСК при плоскому траєкторному русі.

Список літератури:

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

2. Hrudinina, H. S. (2018). Mathematical modeling of an autonomous uninhabited underwater vehicle dynamics with propeller in the rotary nozzle. *Shipbuilding and Marine Infrastructure*, NUOS, 2(10), 144-153 P. DOI 10.15589/SMI. <http://smi.nuos.mk.ua/-archive/2018/2/16.pdf>

3. 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 P.

УДК 629

СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА ПОЗИЦІОНУВАННЯ ПІДВОДНОГО АПАРАТА ПОШУКОВОГО ТИПУ

Автор: А.С. Сірівчук, ст. викладач, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Моніторинг підводної обстановки включає в себе низку різноманітних вимірювань, як точкових так і дистанційних. Автоматизація процесу моніторингу може не тільки зменшити трудові та матеріальні витрати на його проведення, а також збільшити достовірність отриманих даних. Одним з ефективних напрямків автоматизації даного процесу є використання підводних апаратів (ПА), як носіїв вимірювального або технологічного обладнання.

Регулятора автоматичного керування рухом представляє режим динамічного позиціонування ПА в точці при відсутності на ПА рушіїв, що можуть забезпечити лаговий рух. Така структура рушійно-кермового комплексу ,зазвичай, використовується на ПА пошукового типу. Таким чином бокове зміщення при наявності зовнішніх збурень необхідно компенсувати корегуванням курсу ПА.

Рух ПА, що не має рушіїв, які не можуть забезпечити лагове переміщення, доцільно розглядати не в прямокутній системі координат, а в циліндричній. Оскільки в даній системі координат вихідними величинами є висота, над точкою, відстань в горизонтальній площині та кут повороту відносно головної осі. Таким чином апарат який має два маршових та один вертикальний рушій буде трактувати їх як: глибина занурення, курс до цілі та відстань пройденої маршовим рухом.

Таким чином для переходу від прямокутної напівзв'язаної системи координат, яка відповідає правій тройці векторів, в циліндричну необхідно провести наступні перетворення:

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{x^2 + z^2} ; \\ H &= y ; \\ \varphi &= \begin{cases} \arctg\left(\frac{-z}{x}\right), & x > 0 \\ \arctg\left(\frac{-z}{x}\right) + \pi, & x < 0, z \geq 0 \\ \arctg\left(\frac{-z}{x}\right) - \pi, & x < 0, z < 0 \\ \frac{\pi}{2} & x = 0, z > 0 \\ -\frac{\pi}{2} & x = 0, z < 0 \\ - & x = 0, z = 0 \end{cases} \end{aligned}$$

де x, y, z – координати заданої точки відносно ПА в напівзв'язаній системі координат; R – відстань від апарата до заданої точки; φ – напрямок курсу апарата до заданої точки; H – необхідна глибина занурення.

Таким чином в при розгляді задаючих впливів регулятор можна розділити на два незалежні контури: керування вертикальним та горизонтальним рухом (рис. 1). Де при керуванні горизонтальним рухом задаючими впливами є курс та маршова швидкість. Для вертикального руху немає необхідності розробляти нові регулятори оскільки він є одномірним. А регулятор горизонтального руху має більш складну задачу.

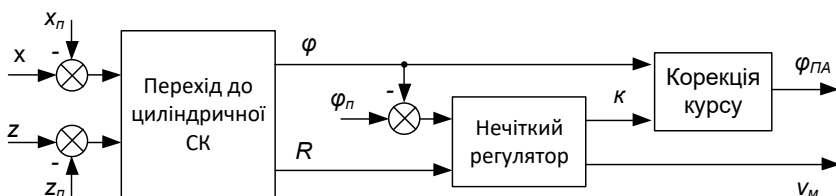


Рисунок 1 – Структура регулятора горизонтального руху

Для визначення заданої швидкості пропонується використання методів нечіткої логіки. Режим руху ПА який необхідно вибрати залежить від двох компонентів: відстані R та відхиленню курсу $\Delta\varphi$.

$$\Delta\varphi = \varphi - \varphi_p;$$

де φ_p – поточне значення курсу.

При виборі варіанту руху маршового ходу – назад, то за допомогою коефіцієнт K заданий курс зміщується на 180 градусів.

База правил нечіткого регулятора можна виразити наступним чином:

– в межах допустимого відхилення – в даній області маршова швидкість ПА відносно простору повинна дорівнювати 0. Хоча відносно води може бути не нульовою при наявності течії. Корегування курсу не відбувається;

- близько спереду – найбільший пріоритет при розподіленні навантаження для руху ПА передається корегування курсу остаток переходить на маршовий рух;
- близько збоку – маршовий рух відсутній, ПА здійснює поворот поки не буде режим близько спереду;
- близько позаду – поворот ПА прямує до значення кута відхилення, що дорівнює π або $-\pi$. Маршовий рух здійснюється заднім ходом;
- далеко попереду – маршовий рух розвиває максимальну швидкість. Кут відхилення корегується в процесі маршового руху ПА та прямує до значення 0;
- далеко збоку та далеко позаду – маршовий рух відсутній, а ПА здійснює поворот до режиму далеко попереду.

Даний регулятор ґрунтується вже на розв'язаних задачах стабілізації швидкості та курсу ПА[1].

Список літератури:

1. Горюшкін О. Б. Розробка структури системи автоматичного керування прив'язним підводним апаратом в умовах течії [Текст] / О. Б. Горюшкін// Підводна техніка і технологія: Матеріали всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю: В 2 ч. – Миколаїв: НУК, 2018. – Ч.1 - с.59-62

УДК 629.584

СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРУ КЕРУВАННЯ СИСТЕМОЮ КЛІМАТ-КОНТРОЛЮ ПРИМІЩЕННЯ ПОСТА КЕРУВАННЯ ПІДВОДНИМ КОМПЛЕКСОМ

***Автор:** О.В. Сус, магістрант, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна*

При проведенні робіт за допомогою підводних роботизованих комплексів мікроклімат не повинен конфліктувати зі здоров'ям персоналу. Це вимагає розв'язку питань, які входять у проблему створення мікро-екологічних систем: провітрювання приміщень по факторі обміну обсягу повітря в приміщенні за встановлений час; формування заданого температурного режиму шляхом охолодження або напрямку перемі-

щуваної повітряної маси. Для розв'язку цих завдань необхідне створення спеціальних регуляторів для систем вентиляції, обігріву та кондиціонування приміщень поста керування.

Мета роботи – створення мікропроцесорної системи моніторингу та керування мікрокліматичними параметрами приміщення поста керування підводним комплексом.

Забезпечення підвищення ефективності експлуатації підводних роботизованих комплексів є однією з найважливіших проблем безаварійних глибоководних технологічних робіт. Зазвичай в даних системах має місце значне відхилення параметрів мікроклімату від нормованих, яке виражається підвищеною або зниженою температурою повітря, підвищеною вологістю або сухістю повітря, недоліком свіжого повітря тощо. Причинами зазначених недоліків є технічна недосконалість експлуатованих систем і застосовуваний в даний час у вітчизняній і зарубіжній практиці проектування підхід щодо забезпечення "середнього рівня комфорту", який не враховує індивідуальних характеристик людини і виду її діяльності та характеризується неможливістю контролювати всі параметри повітряної суміші. Особливо гостро питання постає у зв'язку зі збільшенням психологічного «мозкового» навантаження на відповідальний персонал з пропорційно зростаючим ступенем відповідальності. Дослідження показують що переважна більшість аварійних ситуацій і надзвичайних подій на відбувається через перевтому екіпажу і втрату уваги, на що безпосередній вплив надає якість повітряного середовища навколо людини, не кажучи вже про загальновідомий вплив клімату на продуктивність праці та індивідуальні характеристики навколишнього середовища для особливих видів вантажу. Тому розробка системи забезпечення необхідних параметрів мікроклімату є актуальним і перспективним напрямком, що забезпечує зниження експлуатаційних витрат та дотримання вимог соціальної безпеки.

Структурна схема системи наведена на рис. 1. Центральним елементом системи є мікроконтролер, він приймає показання датчиків температури та вологості, обробляє їх та відправляє команди виконавчим механізмам систем вентиляції, обігріву та кондиціонування. Для

моніторингу параметрів мікроклімату використовується панель моніторингу або персональний комп'ютер, можливо використання хмарних та веб технологій для керування системою та збереження даних моніторингу.



Рисунок 1 – Структурна схема системи

Висновок. Розроблена система дозволяє підтримувати параметри мікроклімату необхідні для ефективної та безаварійної роботи операторів підводних роботизованих комплексів. Дана система являє собою достатньо універсальну платформу та може бути використана для підтримки мікрокліматичних параметрів у системах «Розумний будинок».

УДК 629.584: 681.518

ВИКОРИСТАННЯ ПРОТОКОЛІВ ETHERNET ТА IP В СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ ПІДВОДНИМИ АПАРАТАМИ

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

В даний час мережі Ethernet стрімко розвиваються, безліч сучасних систем будуються на технологіях Ethernet та IP, при цьому технології комп'ютерних мереж починають витісняти інші інтерфейси і протоколи передачі даних: в промислових мережах Ethernet приходить на зміну інтерфейсу RS485, в автомобілебудівній галузі – CAN, в системах відеоспостереження і телебачення на зміну аналогових аналогових систем передачі даних і т.д. І хоча технологія Ethernet розроблялася для комерційного застосування, тому в ній не приділяється уваги тому, чи дійшли дані до місця призначення, у військових і авіаційних додатках, де це неприйнятно, мережа Ethernet застосовується після незначних змін в протоколі передачі, що підвищують його детермінізм.

Система керування підводним апаратом грає одну з ключових ролей в експлуатації підводних систем, тому від якості її розробки залежить життєздатність та можливість легкої функціональної модернізації підводної системи.

Типова структура підводної системи з використанням технології Ethernet наведена на рис. 1. Керування підводним апаратом здійснюється з персонального комп'ютера оператора. У якості органів керування можливо використання промислових або ігрових джойстиків, під'єднаних безпосередньо до ПК. На ПК оператора допоміжного обладнання покладено функції керування усім іншим обладнанням, яке не стосується керування рухом ПА у просторі, наприклад, гідролокатор бокового огляду, профілограф або маніпулятор на борту ПА. Усе обладнання поста поста керування ПА на судні-носії об'єднується в єдину локальну обчислювальну мережу за допомогою Ethernet комутатора. Зв'язок з бортом ПА доцільно виконати за допомогою кабель-тросу з волоконно-оптичною лінією зв'язку. ВОЛС дозволяє передавати дані

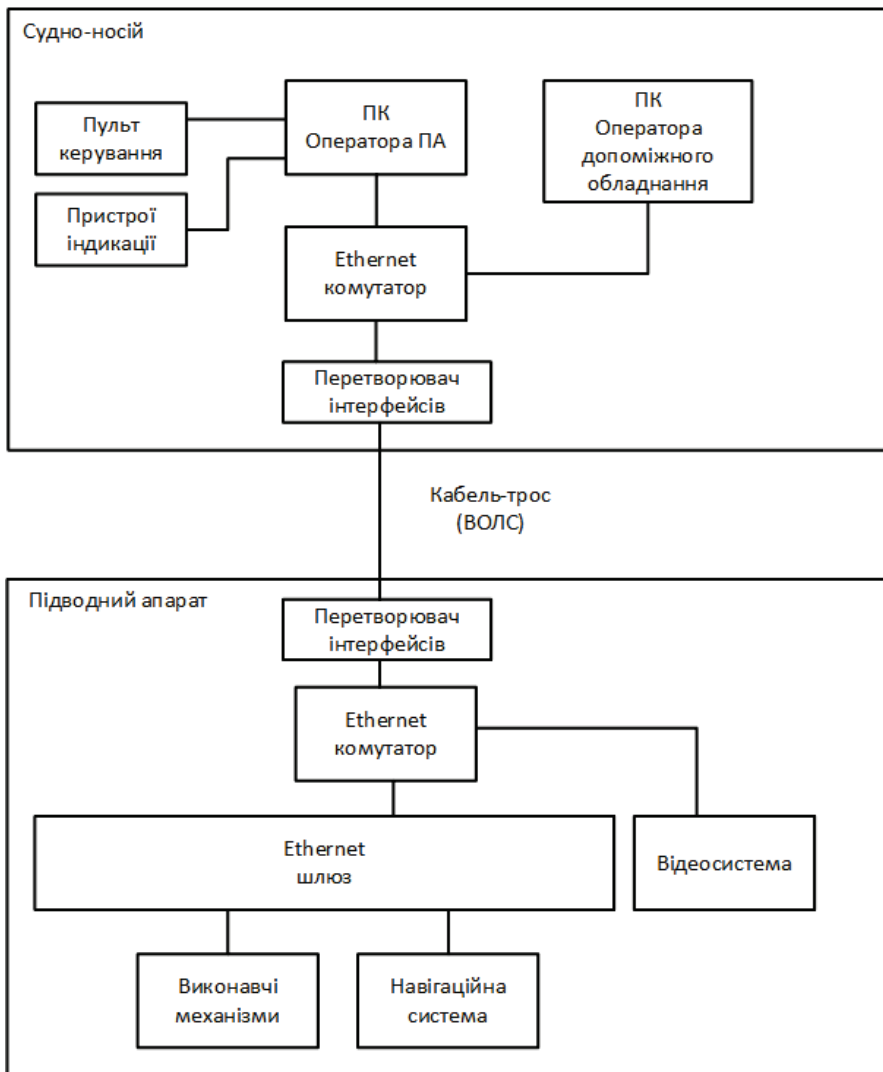


Рисунок 1 – Структурна схема підводної системи з використанням технології Ethernet

без втрат на значні відстані, окрім того даний вид кабелю не є електропровідним та буде працювати навіть при пошкодженнях зовнішньої оболонки. Також використання ВОЛС зменшує зовнішній діаметр кабель-тросу, що сприятливо скасується на керуванні ПА. Сучасна помисливість випускає також гібридні кабелі у яких поряд з оптичними волокнами проходять силові жили живлення, але розвиток Li-ion акумуляторних джерел живлення дозволяє розташувати акумуляторну батарею з невеликими масогабаритними показниками на борту ПА. Так як Ethernet технології є достатньо гнучкими, окрім ВОЛС можливо використання інших типів кабелів, наприклад, вита пара або коаксіальний кабель, тоді у якості перетворювача інтерфейсів необхідно встановити перетворювач одної з xDSL технологій або використовувати відповідний DOCSIS модем.

На борту підводного апарату встановлюється зворотній перетворювач інтерфейсів, до якого підключається Ethernet комутатор. Так як виконавчі механізми та навігаційні системи можуть мати інші інтерфейси, такі як RS232, RS485, CAN та ін., для узгодження інтерфейсів використовується Ethernet шлюз. Виконавчими механізми виступають: система керування електрорушійним комплексом, система керування освітленням та ін., такі системи при використанні стандартних модулів зачастиш не мають у собі інтерфейсів Ethernet, але більшість з них має інтерфейс RS485, тому для подібної системи достатньо буде перетворювача Ethernet – RS485, який широко випускається серійно.

Відеосистема підводного апарату легко будується на цифрових камерах систем IP відеоспостереження. Використання серійної роботизованої камери дозволяє отримати необхідні куту огляду та використовувати оптичне збільшення зображення. Керування роботизованою камерою здійснюється стандартному по протоколу ONVIF. Для підключення таких камер не потрібно допоміжних перетворювачів, достатньо лише Ethernet комутатора з PoE.

Вимоги до інформаційних систем сучасних підводних комплексів і до їх пропускної спроможності ростуть слідом за появою нових великих програм, наприклад, систем автопілоту, картографування донної поверхні, обробки відеоінформації. Існуючі мережі керування, такі як

RS485 і CAN не можуть покрити зростаючі вимоги по пропускній здатності і розширюваності, які потрібні для різних систем допомоги операторові. Нові мережеві технології повинні перейняти якомога більше від інших областей, але з урахуванням відповідних вимог до підводних систем. Це включає в себе як апаратні компоненти, так і набори програм.

Висновки: Розроблено апаратна модульна платформа для побудови підводних робототехнічних комплексів. Запропонована платформа є досить універсальною та може бути використана у системах керування іншим промисловим обладнанням.

Список літератури:

1. Бортовые информационные системы: Курс лекций/А. А. Кучерявый; под. ред. В.А. Мишина и Г.И. Ключева.- 2-е изд., перераб. и доп. – Ульяновск: УЛГТУ, 2004. – 40 с.
2. Блінцов, О.В. Розробка модульної системи інформаційного обміну прив'язної підводної системи [Текст] / О.В. Блінцов, В.І. Корицький // Збірник наукових праць НУК. – Миколаїв : НУК, 2015. – С. 94 – 101.

УДК 629.584

**МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ
АВТОНОМНОГО ПІДВОДНОГО АПАРАТА**

Автор: Ю.В. Юдкин, магістрант, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

На сьогоднішній день підводні роботизовані комплекси використовуються практично у всіх сферах морської галузі.

Розробниками та виробниками підводних апаратів в світі вирішується завдання підвищення автономності та дальності дії. Даний вид транспорту вимагає наявності енергоємного джерела електричної енергії. В даний час в якості джерел струму для підводних апаратів зарекомендували себе акумуляторні батареї.

Одним із способів збільшення автономності підводних апаратів, є розробка більш ефективних алгоритмів керування енергетичною установкою.

Забезпечення високоемними джерелами енергії є однією з найважливіших проблем при вдосконаленні експлуатаційних можливостей автономних підводних апаратів.

Одне із завдань є створення інструментів, що дозволяють проведення попередніх випробувань в режимі моделювання, без експериментальних досліджень, адже це призводить до збільшення витрат часу і матеріальних витрат. Це можливо коли замість об'єкта випробування використовується його математична модель. Цей підхід дозволяє істотно знизити витрати на проектування електроенергетичної установки.

Розробка повномасштабної і достовірної моделі, є актуальним інженерним завданням. При цьому модель повинна відрізнятися простою реалізації і відносно невеликим обсягом і прийнятною швидкістю обчислювальних операцій.

Для моделювання багатоелементної акумуляторної батареї з елементів з відомими і схожими характеристиками, а також для проектування і розробки систем контролю і управління багатоелементної батареєю модель на основі еквівалентної схеми володіє достатньою простотою реалізації, а також достатньою точністю оцінки параметрів акумуляторної батареї. Еквівалентна схема була складена за допомогою мови і блоків Simscape в середовищі MATLAB.

Кожен елемент схеми є набором експериментально отриманих значень основних параметрів літій-іонного акумулятора. Також в роботі розглянута модель літій-іонного акумулятора з бібліотеки Simulink MATLAB.

На основі результатів порівняння експериментальних і змодельованих даних надано рекомендації у виборі моделі при розробці системи контролю та управління літій-іонної акумуляторної батареї.

Метою роботи є підвищення енергетичної ефективності і експлуатаційних показників підводних апаратів на основі раціоналізації параметрів і режимів роботи акумуляторних батарей.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися такі основні завдання дослідження:

- аналіз основних типів акумуляторних батарей, які застосовуються в АПА і визначення найбільш перспективних, з точки зору максимізації ресурсу, і поліпшення експлуатаційних показників апарату, а також визначення ключових факторів, що впливають на зменшення ресурсу акумуляторної батареї;

- розробка комплексної математичної моделі системи, для якісної і кількісної оцінки зарядно-розрядних режимів АБ;
- аналіз експлуатаційних режимів АБ з використанням імітаційного моделювання;
- визначення теплових режимів АБ, за допомогою імітаційного моделювання зарядно-розрядних режимів.

Список літератури:

1. Ястребов В. С. Телеуправляемые подводные аппараты. – Л.: Судостроение, 1985. – 232 с.
2. Блинцов, В. С. Привязные подводные системы. – К.: Наукова думка, 1998. – 142 с.
3. Зиновьев Г. С. Основы силовой электроники Учебное пособие. – Изд. 2_е, испр. и доп. – Новосибирск: Изд_во НГТУ, 2003. – 664 с.
4. Розанов Ю. К. Основы силовой преобразовательной техники. – М.: Энергия, 1979. – 392 с.

СЕКЦІЯ 3. НОСІЇ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПІДВОДНО- ТЕХНІЧНИХ РОБІТ

УДК 629.584

ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНЫМ НЕОБИТАЕМЫМ ПОДВОДНЫМ АППАРАТОМ КАК АГЕНТОМ ГРУППЫ

*Автор: Л.Т. Алоба, преподаватель, Национальный университет
кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев, Украина*

Постановка задачи.

Испытаниям подвергается телеуправляемый необитаемый подводный аппарат (ТНПА проекта “Гидрограф”) производства НУК им. адм. Макарова, оснащенный системой сенсоров внешней среды (СВС), а также радиоуправляемый катер (РУК).

Состав комплекса оборудования, подлежащего испытаниям: ТНПА легкого класса; пост энергетики и управления (ПЭУ); кабель-трос; кабельной лебедки (КЛ); радиоуправляемый катер (РУК); пульт для управления РУК; СВС .

Целью проводимых испытаний является экспериментальная проверка функциональной работоспособности определенного режима работы интеллектуальной системы автоматического управления согласованным движением автономного необитаемого подводного аппарата как агента группы, в частности реализации алгоритмов адгезии и когезии.

Задачами испытаний является последовательное выполнение этапов проверки согласно настоящей Программе и методике испытаний.

Основные технические характеристики оборудования приведены в табл. 1.

Экспериментальное исследование регулятора дистанции начнем с проверки режима адгезии, а затем режима когезии. Подтверждение работоспособности САУ АНПА при воздействии на его корпус внешних возмущений.

Таблиця 1

№ п/п	Наименование	Параметр
Гидрограф		
1	Размеры ТНПА, в мм:	
	– длина	1220
	– ширина	600
	– высота	540
2	Масса ТНПА, в кг:	97
3	Кабель-трос: (ПУ РУК)	
	– максимальная длина, м	250
	– наружный диаметр, не более, мм	10
	продольные стационарные усилия:	
	– не менее, кН	4,392
РУК		
1	Размеры РУК, в мм:	
	– длина	
	– ширина	
	– высота	
2	Масса РУК, в кг:	

Исследуется динамические свойства САУ АНПА путем задания сигнала управления, изменяющегося по синусоидальному закону.

Порядок и условия проведения натурных испытаний

Перед каждым видом испытаний проводить внешний осмотр и проверку работоспособности в нормальных климатических условиях.

Нормальные климатические условия характеризуются сочетанием следующих параметров атмосферы:

- температура от +5 °С до 35 °С;
- относительная влажность воздуха от 45 до 85 %;
- атмосферное давление от 84 до 107 кПа (от 630 до 800 мм рт. ст.).

Испытания проводить при:

- волнении водной поверхности – до 3-х баллов;
- скорости движения – от 0,5 до 2 м/с.

При испытаниях применять стандартизированные средства измерения и оборудование.

Не стандартизированная измерительная аппаратура и оборудование должны быть проверены на соответствие конструкторскому документу, содержащему основные параметры этой аппаратуры.

К испытаниям допускается персонал, обученный работе с аппаратурой, испытательным оборудованием.

Требования по безопасности в процессе проведения испытаний должны быть направлены на исключение поражений и травм обслуживающего персонала, а также с учетом требований безопасной эксплуатации надводных и подводных технических средств.

Метрологическое обеспечение испытаний

Перечень средств измерений, обеспечивающих требуемую точность измерений, должен быть согласован с метрологической службой предприятия-исполнителя.

При проведении испытаний применять аттестованные средства измерений, предусмотренные в методиках испытаний настоящей «Программы и методики», имеющие достаточный срок до проведения очередной аттестации.

Программа испытаний

Работоспособность интеллектуальной системы автоматического управления (САУ) АНПА как агентом группы проверяется путем получения а анализа зависимости удаления макета от РУК $l(t)$ в режимах адгезии (удаления макета от приближающегося РУК), когезии (приближения макета к РУК, удаляющемуся от него) и согласованного движения макета и РУК. Натурный эксперимент делится на следующие этапы:

- проверка работоспособности САУ АНПА в режиме адгезии;
- проверка работоспособности САУ АНПА в режиме когезии;
- проверка работоспособности регулятора дистанции при воздействии на АНПА внешних возмущений;
- определение динамических свойств САУ АНПА.

Расстояние между макетом и РУК измеряется группой сенсоров дистанции, входящих в комплект системы СВС.

Угол курса измеряется сенсорами навигационной системы макета.

Методики испытаний

Определение констант. Сенсоры системы СВС макета могут измерять дистанцию в диапазоне $l = [0,3; 5]$ м. В связи с этим введем следующие константы:

- радиус опасной зоны $r_{danger} = 1$ м;
- радиус зоны согласованного движения $r_{track} = 3$ м;
- радиус зоны потери $r_{miss} = 4$ м.

Если РУК по отношению к макету находится в опасной зоне ($l \leq r_{danger}$), САУ должна переходить в режим адгезии, то есть макет должен удаляться от РУК. РУК по отношению к макету находится в зоне удаления ($l \geq r_{miss}$), САУ должна переходить в режим движения заданным курсом. Если $r_{track} \leq l \leq r_{miss}$, САУ должна переходить в режим когезии, то есть аппарат должен сближаться с РУК. Если же $r_{danger} \leq l \leq r_{track}$, САУ должна перейти в режим согласованного движения макета и РУК.

Определение задачи управления для испытания САУ в динамическом режиме. Задачу управления для испытания по определению динамических свойств САУ АНПА необходимо формировать по следующему закону:

$$l_s(t) = l_s(0) + \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right),$$

где $l_s(0)$ – начальное значение задачи управления, T – период изменения задачи управления, t – время.

Методика испытания САУ АНПА в режиме адгезии.

В режиме ручного управления вывести макет и РУК в изначальные положения, обеспечив выполнение условия $l \leq r_{danger}$.

На посту управления макетом включить режим записи показаний сенсоров системы СВС.

Перевести САУ макета в режим автоматического управления. С помощью пульта управления перевести РУК в режим маршевого хода вперед.

По показаниям сенсоров системы СВС, а также визуальным наблюдением убедиться, что макет удаляется от РУК.

Дождатися завершення переходного процесу.

Перевести САУ макета в режим ручного управління і зупинити рух РУК.

Виключити запис показань системи СВС.

Якщо не виконані умови п. 8.2.4 даної методики або робота регулятора дистанції не задовольняє заданим критеріям якості, змінити налаштування регулятора і повторити пп. 8.2.1 – 8.2.7 даної методики. В протилежному випадку перейти до п. 8.2.9 методики.

Результати випробування занести в протокол.

Методика випробування САУ АНПА в режимі ковзання.

В режимі ручного управління вивести макет і РУК в початкові положення, забезпечив виконання умови $r_{track} \leq l \leq r_{miss}$.

На посту управління макетом увімкнути режим запису показань датчиків системи СВС.

Перевести САУ макета в режим автоматичного управління. С за допомогою пульта управління перевести РУК в режим маршового ходу вперед.

За показаннями датчиків системи СВС, а також візуальним спостереженням переконатися, що макет наближається до РУК.

Дождатися завершення переходного процесу.

Перевести САУ макета в режим ручного управління і зупинити рух РУК.

Виключити запис показань системи СВС.

Якщо не виконані умови п. 8.3.4 даної методики або робота регулятора дистанції не задовольняє заданим критеріям якості, змінити налаштування регулятора і повторити пп. 8.3.1 – 8.3.7 даної методики. В протилежному випадку перейти до п. 8.3.9 методики.

Результати випробування занести в протокол.

Методика випробування роботоздатності регулятора дистанції при впливі на АНПА зовнішніх впливів.

Для забезпечення можливості створення зовнішнього впливу і його повторюваності в даному випробуванні макет буде здійснювати рух вздовж борту надводного судна на заданній відстані l_s .

Испытание регулятора дистанции необходимо проводить по следующему алгоритму:

в режиме ручного управления вывести макет в изначальное положение, обеспечив выполнение условия $l > l_s$;

на посту управления макетом включить режим записи показаний сенсоров системы СВС;

перевести САУ макета в режим автоматического управления;

дождаться завершения переходного процесса, после чего приложить к корпусу макета возмущающее воздействие;

дождаться завершения переходного процесса;

перевести САУ макета в режим ручного управления;

выключить запись показаний системы СВС;

результаты испытания занести в протокол.

Методика испытания для определения динамических свойств САУ.

В случае динамического изменения значения заданной дистанции необходимо обеспечить строго прямолинейное движение РУК. Отклонение РУК от прямолинейной траектории движения приведет к снижению точности измерений. Поэтому при испытании по определению динамической точности САУ в качестве соседнего АНПА также будем использовать борт надводного судна.

Испытания проводим в такой последовательности:

с помощью аппаратно-программного обеспечения поста управления сформировать задачу управления для САУ;

в режиме ручного управления вывести макет в изначальное положение, обеспечив выполнение условия $l \neq l_s(0)$;

на посту управления макетом включить режим записи показаний сенсоров системы СВС;

перевести САУ макета в режим автоматического управления;

ожидать время $t_d \geq T$;

перевести САУ макета в режим ручного управления;

выключить запись показаний системы СВС;

результаты испытания занести в протокол.

Список литературы:

1. Блинцов В.С., Магула В.Э. Проектирование самоходных привязных подводных систем. К.: Наукова думка, 1997. – 140 с.

2. Блинцов С.В. Совершенствование управления автономным необитаемым подводным аппаратом как агентом группы морских роботов [Текст] / С.В.Блинцов, Л.Т. Алоба // Збірник наукових праць НУК. – Миколаїв НУК, 2016. – № 5(467). – С. 30-35

3. Блінцов, О.В. Автоматизація керування одноланковими самохідними прив'язними підводними системами. Навчальний посібник [Текст] / Блінцов О.В, Надточій В.А. – Миколаїв: Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, 2014. – 124 с.

УДК 629.584

СИНТЕЗ ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ МОБІЛЬНОГО ПОСТА МОНІТОРИНГУ ПІДВОДНОЇ ОБСТАНОВКИ

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

Через брак викопного палива і зростанням попиту забезпечення енергією, з'явилася необхідність використання поновлюваних джерел енергії. З огляду на простоту, доступність і величезний потенціал, сонячна енергетика є однією з найосновніших напрямків відновлюваної енергетики, яка в змозі задовольнити збільшення попиту на енергію.

Сьогодні фотоелектричні системи стають все більш і більш популярними завдяки збільшенню попиту на електроенергію і в той же час мають мінімальне забруднення навколишнього середовища. Сонячна енергія, є безкоштовною і практично знаходиться в достатку в більшості країн світу. Енергія, яку Земля отримує від Сонця настільки величезна і настільки потужна, що повна споживана енергія всього світу еквівалентна випромінюваної енергії сонця протягом півгодини. Сонце є чистим і поновлюваним джерелом енергії, який не виробляє ніяких шкідливих газів, ні токсичних відходів в результаті її використання.

На жаль, у цієї системи є недоліки:

- низький ККД вироблення електроенергії (9-16%);
- залежність від погодних умов (рівень інсоляції та температури).

Існує два види фотоелектричних станцій: мережеві та автономні. Перші забезпечують електроенергією як від поновлюваних джерел енергії, так і від мережі. Така можливість дозволяє розташувати системи різної потужності не тільки у віддалених районах, а й у містах, котеджних селищах. І в даному випадку доводиться платити за електроенергію, що є основною причиною вибору типу фотоелектричної станції.

Автономні системи використовуються там, де немає мереж централізованого електропостачання. Для забезпечення енергією в темний час доби або в періоди без яскравого сонячного світла необхідна акумуляторна батарея. Автономні фотоелектричні системи часто використовуються для електропостачання окремих будинків. Малі системи дозволяють жити базове навантаження (освітлення і іноді телевізор або радіо), більш потужні системи можуть також жити водяний насос, радіостанцію, холодильник, електроінструмент і т.п. Така система складається з сонячної панелі, контролера, акумуляторної батареї, кабелів, електричного навантаження і підтримуючої структури. Основна перевага полягає в незалежності від мереж електропостачання та відповідно, плати за електроенергію.

Дуже важливим питанням є забезпечення електричною енергією підводно-технічних робіт, які виконуються мобільним комплексом з моніторингу стану підводного середовища, при видаленні місця проведення робіт від стаціонарних мереж електропостачання. Застосування в цьому випадку незалежного джерела електричної енергії підкреслює актуальність впровадження екологічно безпечних, альтернативних джерел енергії.

Мета роботи полягає в підвищенні ефективності фотоелектричної станції шляхом установки контролерів, які забезпечують максимально можливу віддачу енергії сонячними батареями в умовах недостатньої інсоляції і високої температури. Так як видів контролерів існує багато, необхідно розробити методику, за допомогою якої можна вибрати необхідний контролер, при заданих рівнях інсоляції і температури.

Були побудовані математичні та комп'ютерні моделі автономної фотоелектричної системи. Завдяки моделюванню проаналізовані переваги і недоліки алгоритмів контролера пошуку точки максимальної потужності. Розроблено методику підбору підходящого типу контролера при різних вхідних параметрах сонячної батареї.

УДК 629.584

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ВІТРОГЕНЕРАТОРА ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОСТУ МОНІТОРИНГУ ПІДВОДНОЇ ОБСТАНОВКИ

Автор: О.О. Улибін, магістрант, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Вітрова енергетика є найбільш привабливим рішенням світових енергетичних проблем. Вона не забруднює навколишнє середовище і не залежить від палива. Більш того, вітрові ресурси присутні в будь-якій частині світу і їх достатньо, щоб забезпечити зростаючий попит на електроенергію.

Безперервне подорожчання виробництва електричної енергії, що генерується традиційними способами, пов'язане зі зменшенням або нестачею паливно-енергетичних ресурсів, як у всьому світі, так і в Україні, викликає інтенсивне зростання генеруючих потужностей з використанням альтернативних джерел енергії. До числа останніх відносять і вітроенергетику.

Дуже важливим питанням є забезпечення електричною енергією підводно-технічних робіт з моніторингу екологічного стану підводного середовища, при видаленні місця установки поста управління підводним комплексом від стаціонарних ліній електропостачання. Застосування в цьому випадку незалежного джерела електричної енергії підкреслює актуальність впровадження екологічно безпечних, альтернативних джерел енергії.

Метою даної роботи є створення моделі вітрогенератора для розрахунків електромеханічних перехідних процесів в електроенергетичних системах, а так само оцінка впливу вітроенергії на енергосистему.

Проаналізувавши існуючі концепції вітротурбін, було прийнято рішення, що для розгляду перехідних процесів і оцінки динамічної стійкості, найбільш підходяща концепція це вітротурбіна змінної потужністю з асинхронним генератором.

Модель вітрогенератора можна розділити на 5 основних компонентів:

- вітротурбіна;
- асинхронний генератор;
- випрямляч;
- інвертор;
- ланка постійного струму.

В рамках роботи була створена математична модель вітроустановки асинхронного генератора подвійного живлення. Математична модель складається з рівнянь які описують роботу: вітротурбіни, асинхронного генератора і перетворювача, а так само стратегія управління перетворювача.

Грунтуючись на математичній моделі була створена модель вітрогенератора в програмному середовищі Matlab Simulink. Розрахунок статичного режиму моделі Simulink був порівняний з математичною моделлю. Відхилення значень в межах норми.

Після розрахунку статичного режиму модель вітрогенератора була досліджена на динамічну стійкість. Як збурень використовувався провал напруги, в слідстві короткого замикання в мережі.

СЕКЦІЯ 4. ПІДВОДНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЕКСПЕДИЦІЙНА ДІЯЛЬНІСТЬ

УДК 629.58

АНАЛІЗ СТАНУ І ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ЗАСОБІВ МОРСЬКОЇ РОБОТОТЕХНІКИ В УКРАЇНІ

Автори: Г.В. Бабкін, к.т.н., Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна; А.Ю. Засць, к.т.н., Одеський національний морський університет, м. Одеса, Україна

Моніторинг підводного середовища є важливою складовою державної системи моніторингу навколишнього природного середовища України і являє собою систему збирання, обробки, збереження та аналізу інформації про кількісний та якісний стан вод та донної поверхні з метою прогнозування його змін та розробки науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття управлінських рішень у галузі використання і охорони вод [1]. Він організується і виконується в інтересах організацій НАН України, Держприкордонслужби України, Мінагрополітики України, Мінкультури України, Мінінфраструктури України, Мінприроди України, Мінпаливенерго України, Міноборони України та ін. [2], що дозволить вирішити наступні актуальні проблеми держави:

- Гідрографічна розвідка та обстеження річок та портів;
- Операції зі знешкодження мін;
- Операції по забезпеченню безпеки в гаванях;
- Контроль стану навколишнього середовища;
- Картографування районів катастроф;
- Проведення архелогічних робіт;
- Пошуково-рятувальні операції.

Традиційні засоби моніторингу підводного середовища будуються на базі стаціонарних систем або виконуються водолазами (планово або оперативно). Всі ці засоби мають низку недоліків, до яких можна віднести: недостовірність отримуваних даних з-за «людського факто-

ру», суттєву залежність від кліматичних умов, високу вартість підводного обладнання та обмежений простір їх використання.

Використання засобів морської робототехніки (ЗМР) для виконання моніторингу, вирішення народногосподарських та військових потреб України дозволить отримувати більш достовірні результати та забезпечити захист водного простору нашої країни.

Відповідно до Морської доктрини України до 2035 року основними задачами є відродження і розвиток торговельного мореплавства, що передбачає поліпшення стану внутрішніх річкових водних шляхів, забезпечення портової діяльності та вирішення загроз національної безпеки у сфері морської діяльності.

У доповіді виконано аналіз наукових задач та розроблених концепцій з використання робототехніки низкою вчених України [2-6], а також типів засобів морської робототехніки та області їх застосування в світовій практиці [7-9].

Проаналізовано реальний досвід використання ЗМР, що були створені науковцями Науково-дослідного інституту підводної техніки Національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова. Для низки вирішення задач підводних робіт на Миколаївщині були використані малогабаритні телекеровані підводні апарати, що представлені на рис. 1.

Також у Науково-дослідного інституту підводної техніки Національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова розроблені наступні ЗМР.

Малогабаритні автономні радіокеровані підводні апарати проекту "ПОШУК" (рис. 2).

Автономні підводні апарати призначені для виконання наступних робіт на мілководних акваторіях: пошуку підводних об'єктів; обстеження донної поверхні акваторій портів та підводних частин суден і гідротехнічних споруд за допомогою відео-, гідроакустичних та магнітометричних приладів; виконання простих підводних робіт за допомогою маніпулятора; високоякісного документування процесу та результатів підводних робіт. Завдяки бездротовому зв'язку з пультом керування можливе застосування апарата по всій акваторії порту без використання додаткових плавзасобів.

Малогабаритні підводні апарати проекту "Простір" (рис. 3).

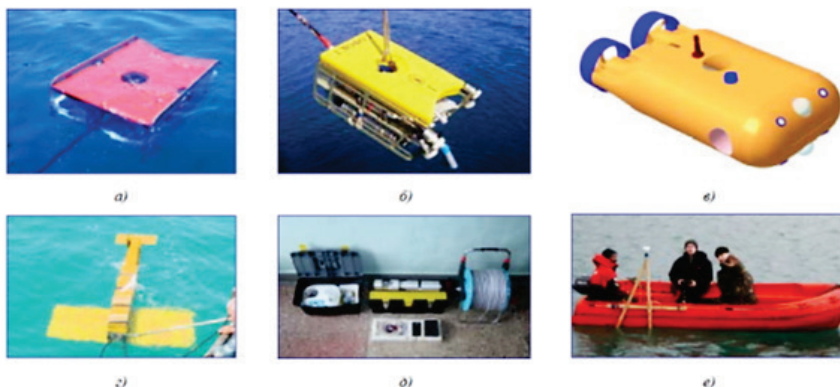


Рисунок 1 – Підводна техніка виробництва НУК, яка використовується при виконанні підводно-технічних робіт на акваторіях Миколаївщини:
а) – пошуково-обстежувальний самохідний МТПА проекту «Інспектор»;
б) – пошуково-маніпуляторний самохідний МТПА проекту «Софокл»;
в) – пошуково-маніпуляторний самохідний МТПА «КНПА» (проект);
г) – пошуковий буксирований МТПА проекту «Планер»; д) – опускальний відеокomплекс для обстеження важкодоступних підводних приміщень;
е) – портативний мобільний комплекс для картографування донної поверхні.

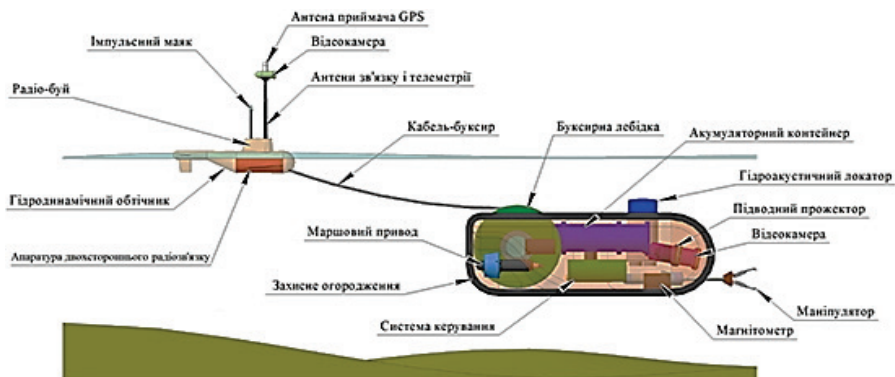


Рисунок 2 – Малогабаритні автономні радіокеровані підводні апарати проекту "Пошук"

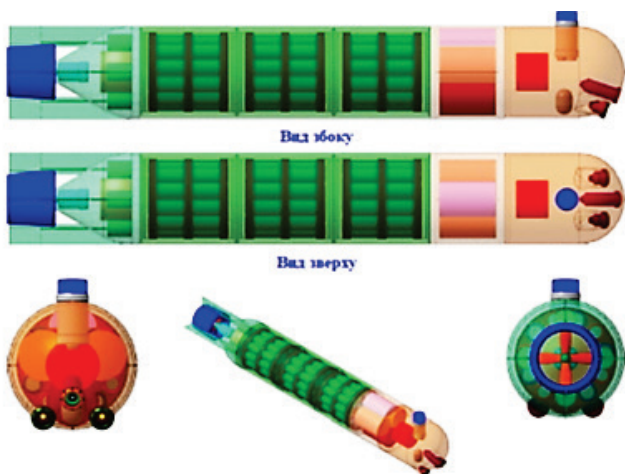


Рисунок 3 – Зовнішній вигляд підводних апаратів серії "Простір"

Підводні апарати призначені для: виконання оглядових, пошукових підводних робіт на глибинах до 300 метрів; пошуку та інспекції затонулих об'єктів відео-, гідроакустичними і магнітометричними приладами; високоякісного документування процесу та результатів підводних робіт.

Автономні підводні апарати проекту "ШЕЛЬФ" (рис. 4). Автономні самохідні підводні апарати призначені для: виконання оглядових, пошукових підводних робіт на глибинах до 200 метрів; пошуку та інспекції затонулих об'єктів відео-, гідроакустичними і магнітометричними приладами; високоякісного документування процесу та результатів підводних робіт.

Висновки: ЗМР на сьогоднішній час є одним із перспективних напрямків вирішення низки народно господарчих та військових задач, що зараз гостро стають перед Україною. Для вирішення цих задач розроблені концепції використання та розвитку ЗМР різних типів. Подальше вдосконалення розроблених концепцій з використанням теорії проектування, теоретичних питань міцності корпусу, організації будівництва дозволять створювати ЗМР, що повністю відповідатимуть потребам України.

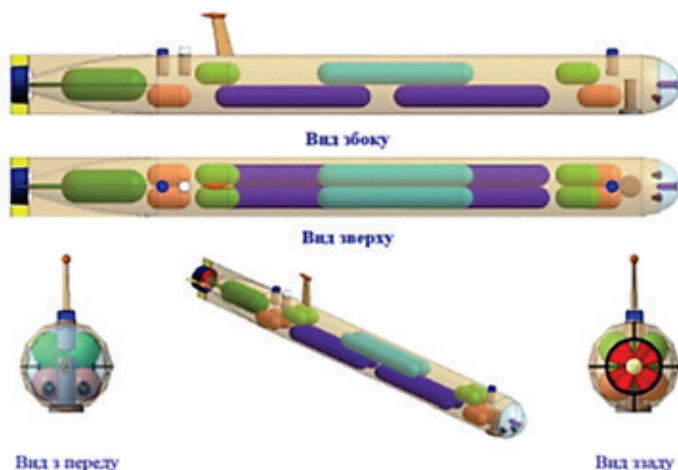


Рис. 4 – Зовнішній вигляд підводних апаратів серії "ШЕЛЬФ"

Список літератури:

1. Порядок здійснення державного моніторингу вод / постанова Кабінету Міністрів України від 20 липня 1996 р., № 815.
2. Блінцов, О. В. Концепція роботизованого моніторингу підводного середовища на основі застосування прив'язних підводних апаратів / О. В. Блінцов, А.С. Сірівчук // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – Т. 6, № 3(72). – С. 16–21.
3. Блинцов, В. С. Привязные подводные системы. / В. С. Блинцов. – К.: Наукова думка, 1998. – 142 с.
4. Блинцов, В. С. Сучасні завдання створення багатоцільового морського безпілотного комплексу / В.С. Блінцов, Д. В. Костенко, В.В Трибулькевич, В.В Соколов // Вісник НУК ім адм Макарова – 2017. – №2 – С. 20–27.
5. Блінцов, О. В. Узагальнена методика оцінки ефективності підводної техніки у проектах глибоководної археології. / О. В. Блінцов А. В. Надточій // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – Т. 1, № 3(67). – С. 25–29.

6. Блинцов, В. С. Концепція створення автономних ненаселених підводних апаратів для військово-морських сил держави / В.С. Блінцов, С. В. Блінцов, Доан Фук Тхи, О. В. Красних // Вісник НУК ім адм Макарова – 2013. - №3 – С. 186–191.

7. Постанова Кабінету міністрів України Про затвердження Морської доктрини України на період до 2035 року від 7 жовтня 2009 №1307.

8. Бочаров Л. Необитаемые подводные аппараты: состояние и общие тенденции развития. // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. №7. 2009.

9. Половко С.А. Концептуальні вопросы роботизации морской техники / С.А Половко, П.К. Шубин, В.И. Юдин // Научно-технические ведомости СПбГПУ – 2013. – № 1. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – С. 104 – 109.

10. Блінцов О.В Телекеровані підводні апарати гна службі морегосподарської діяльності Миколаївщини / О.В. Блінцов, М.Г. Гріцаєнко // Shipbuilding & Marine Infrastructure – 2014. - №1(1). – С. 28-33.

УДК 629.584

ПРЕЗЕНТАЦІЯ НАУКОВОЇ МОНОГРАФІЇ М. М. ІЄВЛЕВА, О. В. ЧУБЕНКО, В. С. БЛІНЦОВА, А. В. НАДТОЧИЙ «ПІДВОДНА АРХЕОЛОГІЯ ПІВНІЧНОГО ПРИЧОРНОМОР'Я: СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ»

***Автори:** В.С. Блінцов, д.т.н., проф., Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна; А.В. Надточий, к.т.н., в.о. доц., Херсонська філія Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон, Україна*

Вступ.

Наукова монографія «Підводна археологія північного Причорномор'я: стан та перспективи розвитку» є результатом багаторічної співпраці фахівців Науково-дослідного інституту підводної техніки НУК з Інститутом археології НАН України. На протязі 2012-2019 років було проведено декілька морським роботизованих археологічних експедицій на Чорному морі, розроблено теоретичні основи застосування за-

собів підводної робототехніки (ЗПР) у мілководних і глибоководних археологічних дослідженнях, захищено кандидатську дисертацію за тематикою проектного менеджменту у галузі роботизації підводної археологічної діяльності.



У зв'язку з поєднанням інтересів суто археологічної науки з інтересами створення і застосування ЗПР монографія містить два окремих розділи:

історичний огляд археологічних досліджень на Чорному морі та основних наукових результатів, здобутих вітчизняними археологами;

прикладні наукові питання проектного менеджменту в задачах роботизації підводних археологічних досліджень, які стали можливими завдяки розвитку морської робототехніки в НУК.

У доповіді коротко розглядаються змістовні частини обох розділів монографії та акцентуються відомості про їх наукову цінність.

Частина 1. Історія та здобутки підводної археології північного Причорномор'я.

Викладаються відомості про основні види підводних археологічних пам'яток північного Причорномор'я:

історія розвитку Чорного моря у пізньому голоцені;

динаміка розвитку прибережної смуги північного Причорномор'я за останні 4 тис. років;

досліджені археологічні пам'ятки, які знаходяться в шельфовій зоні північного Причорномор'я.

Детально описано результати дослідження археологічних пам'яток, які знаходяться у шельфовій зоні північного Причорномор'я від острова Зміїний до Перекопського перешийка:

о. Зміїний;

акваторія Дністровського лиману;

район м. Тіри (Білгород-Дністровський);

«Острів Тирагетів»;

підводні дослідження біля Тилігульського лиману;

о. Березань;

акваторія Березанського й Бейкушського лиманів;

підводні дослідження Бузького лиману та Ольвії.

Наведено результати археологічних досліджень на Чорноморському узбережжі Криму, дослідження в районі озера Донузлав, акваторії Євпаторійської бухти, затоплених поселень на ділянці Євпаторія – м. Тарханкут, дослідження Коктебельської бухти, мису Меганом та Судакської бухти (с. Новий Світ).

Частина 2. Проектний менеджмент у задачах роботизації підводних археологічних досліджень.

Викладаються відомості про основні напрямки досліджень в галузі управління проектами підводних археологічних досліджень, методологію та основні методи досліджень. Наводяться результати розробки моделей управління проектами роботизації підводних археологічних досліджень. Описано успішні практики застосування моделей управління проектами роботизації підводних археологічних досліджень в інтересах вітчизняної підводної археологічної науки.

На фазі розробки проекту роботизації підводної археологічної діяльності (ПАД) наведено обґрунтування техніко-експлуатаційних характеристик ЗПР, які необхідно застосовувати у даній археологічній експедиції та розроблено відповідні технології їх використання.

Було обґрунтовано застосування наступних засобів підводної робототехніки:

- буксированого підводного апарата «Планер-1» виробництва Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, оснащеного гідролокатором бічного огляду «С-1800» (Англія) - для виконання завдань $P3_B$ (для археологічної розвідки на заданій акваторії).

- прив'язного телекерованого підводного апарата «Інспектор» виробництва Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, оснащеного пошуковою відеокамерою «OE14-122» (Англія) та гідролокатором «Super SeaKing DST» (Англія) – для виконання завдань $P3_M$ (обстеження затонулих об'єктів);

- прив'язного телекерованого підводного апарата «Софокл» виробництва Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, оснащеного пошуковою відеокамерою «OE14-122» (Англія), гідролокатором «Super SeaKing DST» (Англія) та маніпулятором і ґрунтососом виробництва Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова – для виконання завдань $P3_T$ (підйому артефактів). Зовнішній вигляд вказаних ЗПР наведено на рис. 1.

На фазі експлуатації проекту роботизації ПАД було відпрацьовано повний цикл роботизованих морських експедиційних робіт спільно екіпажем судна забезпечення та екіпажами ЗПР. Зокрема, було підтверджено працездатність моделі управління ПАД на всіх основних видів підводної археологічної діяльності:



а



б



в

Рисунок 1 – Підводні апарати виробництва Національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова в умовах археологічних експедицій:

а – БПА «Планер-1»; *б* – ТПА «Інспектор»; *в* – ТПА «Софокл»

управління пошуковими роботами на великих за площею акваторіях за допомогою БПА «Планер-1» (пошук та знаходження археологічного об'єкта значних розмірів);

допошук археологічного об'єкта за допомогою ЗПР «Інспектор», оснащеного гідролокатором кругового огляду та попередня ідентифікація цього об'єкта як бойової галери Візантійської імперії (X сторіччя н.е.);

детальне обстеження та фото- і відеодокументування затонулої галери за допомогою ЗПР «Софокл», оснащеного ґрунтососом та маніпулятором, підйом на поверхню окремих артефактів (фрагменту весла галери та амфор).

Ця робота виконувалась екіпажами ЗПР НУК у складі Бабкіна Г.В., Блінцова О.В., Костенка Д.В., Трибулькевича С.Л.

Науковими результатами цієї фази були підтвердження працездатності розробленої концепції роботизації ПАД, археологічними результатами – виявлення, обстеження та дослідження бойової галери Візантійської імперії, яка затонула у X-му сторіччі н.е.

Деякі результати археологічної експедиції показані на рис. 2.

У результаті реалізації проекту було зроблено найбільше за останнє сторіччя масштабне археологічне відкриття – виявлено, досліджено та частково підняте на поверхню бойова галера часів Візантійської імперії, на борту якого знаходиться вантаж цінних артефактів – амфор та інших вантажів.

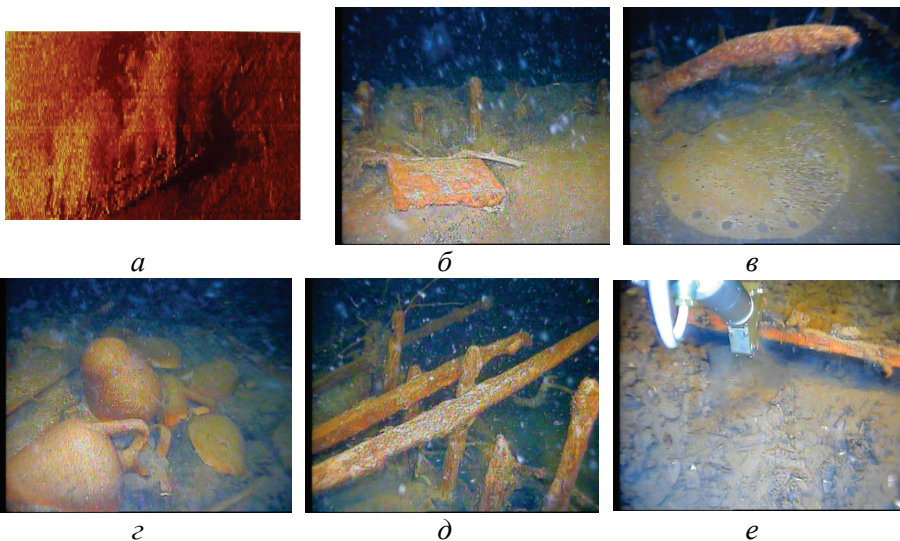


Рисунок 2 – Результати підводної археологічної експедиції
«Візантійська галера»: *а* – кадр гідроакустичного пошуку;
б – кришка суднового ящика; *в* – щит воїна галери;
г, д – обстеження амфор та корпусу галери Візантійської імперії;
е – підйом артефакта маніпулятором ТПА

У доповіді також надано характеристику можливих напрямків використання наукової монографії «Підводна археологія північного Причорномор'я : стан та перспективи розвитку» у навчальному процесі, зокрема, при підготовці магістрантів та PhD-аспірантів відповідних напрямків підготовки в НУК.

ЗМІСТ

Секція 1. Теорія проектування підводних технічних засобів.....3

Методика визначення архітектурно-конструктивного типу прив'язних підводних систем для виконання пошукових, інспекційних і технічних підводних робіт <i>В.С. Блінцов; О.П. Клочков; П.С. Куценко</i>	3
Модульна структура імітаційної моделі просторового руху телекерованого підводного апарата <i>О.В. Блінцов; А.А. Дудкіна</i>	22
Моделювання режимів роботи буксирної лебідки комплексу з підводним апаратом <i>М.А. Болюбаш</i>	28
Дослідження режимів роботи приводу рушійно-кормового пристрою самохідного підводного апарату <i>О.В. Глуценко</i>	30
Удосконалення системи моніторингу підводної обстановки на мілководних акваторіях <i>В.І. Клічановська; А.С. Сірівчук</i>	32

Секція 2. Електрообладнання та автоматика підводних систем і комплексів36

Автоматизація групового управління автономними необитаємими підводними апаратами пошукового типу <i>Л.Т. Алоба</i>	36
Розробка системи інформаційного обміну буксированого підводного апарата <i>А.М. Войтасик; А.С. Сірівчук; О.П. Клочков; Д.В. Залізник</i>	44
Удосконалення системи автоматичного керування автономного ненаселеного підводного апарата <i>Г.С. Грудініна</i>	47
Синтез регулятора позиціонування підводного апарата пошукового типу <i>А.С. Сірівчук</i>	52
Синтез регулятора керування системою клімат-контролю приміщення поста керування підводним комплексом <i>О.В. Сус</i>	55

Використання протоколів Ethernet та IP в системах керування підводними апаратами <i>С.Л. Трибулькевич; Д.В. Костенко; В.В. Трибулькевич</i>	58
Моделювання режимів роботи джерела живлення автономного підводного апарата <i>Ю.В. Юдкин</i>	61
Секція 3. Носії та забезпечення підводно-технічних робіт	64
Программа и методика проведения натурных испытаний интеллектуальной системы автоматического управления автономным необитаемым подводным аппаратом как агентом группы <i>Л.Т. Алоба</i>	64
Синтез перетворювача електроенергії сонячної електростанції мобільного поста моніторингу підводної обстановки <i>Д.В. Депутатов</i>	70
Дослідження режимів роботи вітрогенератора для забезпечення посту моніторингу підводної обстановки <i>О.О. Улибін</i>	72
Секція 4. Підводні дослідження та експедиційна діяльність	74
Аналіз стану і перспективи використання засобів морської робототехніки в Україні <i>Г.В. Бабкін; А.Ю. Засць</i>	74
Презентація наукової монографії М. М. Ієвлева, О. В. Чубенко, В. С. Блінцова, А. В. Надточий «Підводна археологія північного Причорномор'я: стан та перспективи розвитку» <i>В.С. Блінцов; А.В. Надточий</i>	79

Наукове видання

**ПІДВОДНА ТЕХНІКА
І ТЕХНОЛОГІЯ**

ПТТ-2019

**IX Всеукраїнська науково-технічна конференція
з міжнародною участю**

12–13 грудня 2019 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

**У двох частинах
Частина 1**

(українською та російською мовами)

Відповідальна за випуск В. В.Трибулькевич

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 5,1. Тираж 100 прим. Зам. № 37/19.

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.