

**УДК 620.179:621.3.014.4**

*Т.В. Брацлавський, студент гр. ПМ-81мп, д.т.н., доц. Дубінець В.І.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

## **СУЧАСНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПІДВОДНИМИ МІКРОАПАРАТАМИ**

**Анотація.** В даній статті представлені перспективи розвитку підводної робототехніки. Оглянуті принципи побудови сучасних систем керування підводними мікророботами. Представлена структура системи автоматичного керування рухом підводного апарату.

**Ключові слова:** підводний мікроробот, математична модель.

### **ВСТУП**

Підводні мікророботи (ПМР) широко застосовуються в світі для виконання пошукових, інспекційних та інших видів робіт під водою. Практичне застосування ПМР характеризується складними умовами експлуатації, які обумовлені невідомою підводною навігаційною обстановкою, дією зовнішніх збурень, зміною власних масогабаритних і гідродинамічних параметрів ПМР в ході виконання підводних робіт. Автоматизація управління рухомими об'єктами різного призначення завжди перебувала в центрі уваги вчених.

### **ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СУЧАСНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ПМР**

Малогабаритний підводний робот можна уявити як складний об'єкт автоматичного управління, що складається з наступних складових елементів [1-2]:

- корпус ПМР як тверде тіло, що рухається в воді;
- рушійно-рульова система (РРС);
- інформаційна (сенсорна) система (ІС);
- система автоматичного управління рухом;
- комунікаційна система (КС).

Архітектура ПМР як керованого рухомого об'єкта приведена на рис. 1.

Елементи ІС включають датчики внутрішньої інформації про поточні параметри механізмів РРС, датчики інформації про просторові параметри руху і датчики для вимірювання параметрів зовнішнього середовища. До першої групи сенсорів відносяться датчики частоти коливань біоподібного рушія, датчики швидкості ПМР, датчики температури всередині герметичних корпусів з модулями електроніки. Другу групу утворюють датчики кутів ризику, крену і диференту, гідростатичного тиску, вимірювачі висоти ПМР над ґрунтом тощо.

До складу систем автоматичного управління (САУ) входить блок опорних програм, що надходять від комунікаційної системи, і містять дані про параметри заданих траєкторій руху ПМР, мікроконтролери, електронні перетворювачі цифрової і аналогової інформації, які обробляють інформацію від ІС і управляють механізмами РРС в реальному часі. Внутрішній інтерфейс зв'язку між системами ПМР і зовнішнім інтерфейсом, пов'язаним з оператором і іншим зовнішнім обладнанням, забезпечує комунікаційна система.

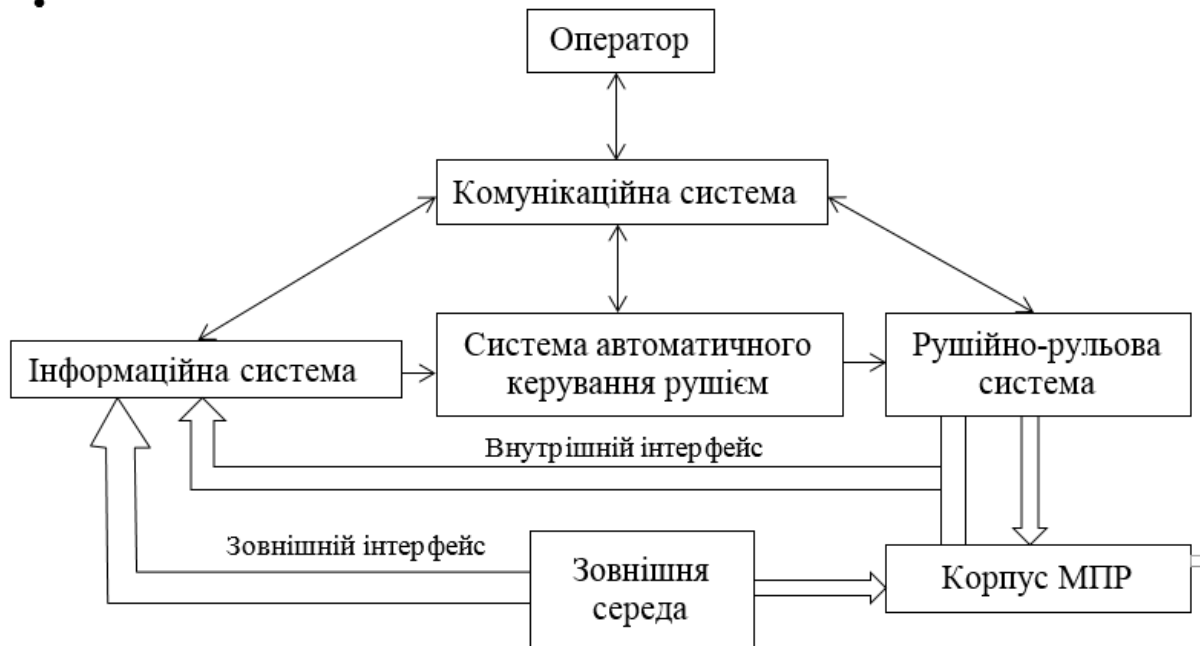


Рисунок 1. Архітектура ПМР як керованого морського рухомого об'єкта

## КЛАСИФІКАЦІЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ МПР

Виділяють наступні види автоматичного управління ПМР[3-4]:

- стабілізація параметрів руху - стабілізація курсу, швидкості, глибини тощо;
- програмне керування - автоматичний рух по програмно заданій підводній траєкторії;
- адаптивне управління - управління з автоматичним настроюванням регуляторів або систем управління при зміні параметрів ПМР або характеристик зовнішнього середовища;
- інтелектуальне управління - управління, засноване на застосуванні елементів штучного інтелекту для моделювання невідомих перешкод на основі локальної сенсорної інформації від ІС або від моделей віртуальної реальності, для моделювання коротких траєкторій руху ПМР в середовищі з відомими або невідомими перешкодами тощо.

## СТРУКТУРА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ РУХОМ МПР

Багаторівнева ієрархічна схема САУ ПМР наведена на рис. 2[5].

Верхній рівень ієрархії - це рівень оператора, який крім функцій завдання програм (режимів роботи) для ПМР і контролю за його роботою має можливість безпосередньо управляти виконавчими механізмами робота шляхом завдання сигналів управління на САУ локального рівня.

На середньому рівні ієрархії знаходиться бортова керуюча ЕОМ, яка забезпечує централізоване управління плоским просторовим рухом ПМР шляхом генерації вектора управління  $U = \{U_1(t), \dots, U_n(t)\}$  - опорних програм

САУ по кожній керованій осі руху як функції часу або відповідних контрольованих змінних - параметрів керованого руху.

Локальний рівень служить для автоматичного управління окремими виконавчими механізмами, які забезпечують керований рух МПР у водній товщі.

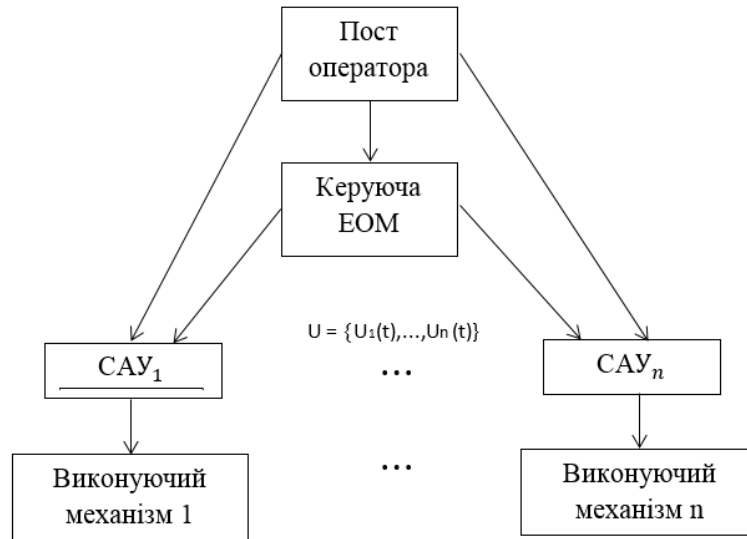


Рисунок 2. Структура багаторівневої ієрархічної розподіленої системи автоматичного управління рухом МПР

Таким чином, сучасні системи управління просторовим рухом МПР будуються, як правило, як багатоканальні, причому кожен канал (тракт) забезпечує управління окремим параметром просторового руху - глибиною, курсом, диферентом.

Ключовими питаннями при розробці зазначених апаратів є енергоефективність і малошумність. Основними джерелами шумів є гребні гвинти, гідравлічні шуми, створювані водяним потоком, обтікаючим корпус. Для підвищення енергоефективності необхідно використовувати двигуни з максимальним ККД. Для вирішення обох завдань перспективним представляється використання в конструкції апаратів рушіїв на основі штучних м'язів. Заміна двигунів штучними м'язами може призвести до повного шумозаглушення. Крім того, звичайні мотори не в змозі відтворити динамічний 3D-рух живих об'єктів, таких як риби [6].

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ КЕРОВАНОГО РУХУ ПІДВОДНОГО МІКРОРОБОТА

Для більшості підводних апаратів просторову траєкторію руху являють як сукупність ділянок руху горизонтальної та вертикальної площинах. Для отримання математичної моделі підводного мікроробота використовують наступні формули [7]:

- для вертикальної площини

$$f(x, \delta, t) = \begin{cases} D^{-1}(F - BDq) \\ \omega_z \\ v_x \cos\theta + v_y \sin\theta; \\ -v_x \sin\theta + v_y \cos\theta; \end{cases} \quad (1)$$

- для горизонтальної площини

$$f(x, \delta, t) = \begin{cases} D^{-1}(F - BDq) \\ \omega_y \\ v_x \cos\psi + v_y \sin\psi; \\ -v_x \sin\psi + v_y \cos\psi; \end{cases} \quad (2)$$

де  $x$  – вектор стану;

$\delta$  – вектор керуючих впливів;

$q$  – вектор узагальнених швидкостей;

$F$  – вектор зовнішніх сил и моментів;

$D$  – матриця приєднаних мас;

$B$  – матриця узагальнених швидкостей;

$V_x, V_y, V_z$  – лінійні швидкості руху;

$\omega_y, \omega_z$  – кутові швидкості руху;

$\psi$  – кут курсу;

$\theta$  – кут диференту.

## ВИСНОВКИ

В статі представлені принципи, по яких будуються сучасні підводні мікророботи, оглянута система автоматичного управління, та наведені загальні формули руху підводних роботів. Ця інформація є стартовою точкою в розробці підводного робота, але потребує доповнення у конкретних випадках.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Розенблат Ф. Принципы нейродинамики: Перцептроны и теория механизмов мозга. Пер. з англ. / Під ред. С.М.Осовца. – М.: Мир, 1965. – 278 с.
- [2] Ульшин В.О., Євстигнєєв І.М., Теорія автоматичного керування. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2002. – 147 с..
- [3] Агеев М.Д., Киселев Л.В., Матвиенко Ю.В. и др, Автономные подводные роботы: системы и технологии, М.: Наука, 2005. - 398 с. .
- [4] Терехов В.А., Ефимов Д.В., Тюкин И.Ю., Нейросетевые системы управления. – М.: Высшая школа 2002. – 183 с.
- [5] Анучин О.Н., Емельянцеv Г.И. , Интегрированные системы ориентации и навигации для морских подвижных объектов. – СПб.: ЦНИИ «Электроприбор», 1999. – 357 с.
- [6] Т.В. Брацлавський, В.І. Дубінець, «Підводний біоподібний мікроробот», Збірник статей ХІ науково-практичної конференції студентів та аспірантів «ПОГЛЯД У МАЙБУТНЄ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ» с.495, 2018.
- [7] Малыгин Г.И. Разработка системы управления движением автономного необитаемого подводного аппарата. // Матер. ХІ конф. молодых учёных "Навигация и управление движением". С.-Пб: ЦНИИ "Электроприбор", 2009. С.301-307.

*Наук. керівник – д.т.н., доц. Дубінець В.І.*