

DOI [https://doi.org/10.15589/znp2020.2\(480\).9](https://doi.org/10.15589/znp2020.2(480).9)
УДК 681.51:629.584

STRUCTURE OF THE CONTROL SYSTEM FOR MARCH MOVEMENT OF MARINE ROBOTICS EQUIPMENT WITH A HYDROBIONIC PROPULSION

СТРУКТУРА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МАРШОВИМ РУХОМ ЗАСОБУ МОРСЬКОЇ РОБОТОТЕХНІКИ З ГІДРОБІОНІЧНИМ РУШІЄМ

Volodymyr S. Blintsov

volodymyr.blintsov@nuos.edu.ua

ORCID: 0000-0002-3912-2174

Serhii I. Olshevskiy

sergiy.olshevskii@nuos.edu.ua

ORCID: 0000-0002-8802-5362

В. С. Блінцов

докт. техн. наук, проф.

С. І. Ольшевський

ст. викладач

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

Abstract. The principles of construction and peculiarities of the structure of control systems for marine robotics, in particular with hydrobionic propulsion, are analyzed. The expediency of using a hierarchical structure with considerable autonomy of individual levels is substantiated. The structure of the system for automatic control of tuna hydrofibril propulsion system was determined. Computer simulation, special sections of the theory of automatic control in the synthesis of nonlinear and discrete control systems, computer-aided design of hardware and software of automatic control systems are used to solve these problems. The development of the structure of the Tuna type automatic control system and its location in the overall hierarchical structure of the marine robotics control system made it possible to determine the requirements for the hardware and software of the automatic control system. The synthesized circuit can serve as a prototype for the construction of an automatic motion control system for autonomous, unpopulated submarines with hydrobionic propulsion. The use of the previously synthesized kinematics model of tuna propulsion engine allows to increase the accuracy and to ensure controllability in all parts of the fin cycle. Based on the developed block diagram of the algorithm of operation of the microcontroller, it is possible to implement the necessary control laws for the fin propulsion. Further research involves the refinement of mathematical models, the development of a working model of the automatic control system and propulsion and the study of their work in the complex.

Key words: control system; robotics; hydrobionic propulsion, microcontroller.

Анотація. Проаналізовано принципи побудови та особливості структури систем керування засобами морської робототехніки, зокрема з гідробіонічними рушіями. Обґрунтовано доцільність використання ієрархічної структури зі значною автономністю окремих рівнів. Визначено структуру системи автоматичного керування плавниковим гідробіонічним рушієм типу тунця. Для вирішення поставлених завдань використовуються методи комп'ютерного моделювання, спеціальних розділів теорії автоматичного керування у частині синтезу нелінійних та дискретних систем керування, системи автоматизованого проектування апаратних та програмних засобів систем автоматичного керування. Розробка структури системи автоматичного керування плавниковим рушієм типу тунця та визначення її місця в загальній ієрархічній структурі системи керування засобами морської робототехніки дало змогу визначити вимоги до апаратної та програмної частин системи автоматичного керування рушієм. Синтезована схема може слугувати прототипом для побудови системи автоматичного керування рухом автономних ненаселених підводних апаратів із гідробіонічними рушіями. Використовування синтезованої раніш моделі кінематики рушія типу тунця дає змогу підвищити точність і забезпечити керуваність на всіх ділянках циклу роботи плавникового рушія. На базі розробленої блок-схеми алгоритму роботи мікроконтролера можливо реалізувати необхідні закони керування плавниковим рушієм. Подальші дослідження передбачають уточнення математичних моделей, розробку діючого зразка системи автоматичного керування та рушія і дослідження їх роботи в комплексі.

Ключові слова: система керування; робототехніка; гідробіонічний рушія, мікроконтролер.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Проектування ефективних автономних підводних засобів морської робототехніки (ЗМР) є комплексним завданням, що включає в себе дослідницькі та проектні роботи з декількох напрямків: механіки, гідро-

динаміки, керування й енергетики. Такі параметри ЗМР, як габарити (механіка), визначаються багато в чому параметрами джерел (і перетворювачів) енергії (енергетика) і впливають на процеси руху у водному середовищі (гідродинаміка). Система керування

повинна враховувати вплив навколишнього середовища і, наскільки це можливо, передбачати реакцію підводного апарата на зміну впливів, що керують або збурюють. Об'єктом дослідження є дослідницький підводний апарат оглядового типу з гідробіонічним рушієм. Предмет дослідження (розробки) – ієрархічна система керування підводним апаратом із гідробіонічним рушієм. За останні роки у всьому світі значно підвищилася увага до автономних підводних систем як цивільного так і військового призначень. Це пов'язане, зокрема, зі значним прогресом у розвитку цифрової техніки і можливості вирішувати завдання керування ЗМР із використанням алгоритмів як традиційного типу, так і систем з елементами штучного інтелекту.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Перші автономні безлюдні підводні апарати (АНПА) [1] використовували прості системи керування аналогового (на початку існування АНПА) типу, потім – цифрові системи на жорсткій логіці та прості програмні автомати. Із причини одиничності й оригінальності кожного АНПА електронні системи були «саморобними» – індивідуального виготовлення, з урахуванням конкретних особливостей та вирішуваних завдань.

Що до ЗМР з гідробіонічними рушіями, то дослідження почалися значно пізніше, ніж робота з АНПА із традиційним рушійним комплексом. Протягом 1990-х і на початку 2000-х проводилися в основному дослідження самого рушія [2–9]. Визначалися геометричні та кінематичні параметри рушіїв [2–5], режими роботи [3–6], основні особливості побудови систем керування [6–9].

Практично з 2000-х років у дослідженнях і розробках систем керування (СК) гідробіонічними рушіями використовували системи індивідуального виготовлення [10], але в якості основного елемента використовувався 8-ми розрядний мікроконтролер. Таким чином, із самого початку використовувалися системи програмного керування. Ускладнення сучасних задач відповідає підвищенню можливостей мікропроцесорної техніки і дозволяють на цей час будувати системи керування з використанням 64-х розрядних контролерів і програмувати складні алгоритми керування обладнанням.

ВІДОКРЕМЛЕННЯ НЕ ВИРІШЕНИХ РАНИШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

На жаль, детального поетапного синтезу САК рушієм або рушійним комплексом автори розробок не наводять. Зокрема, відсутня загальна структура САК і місце СК рушієм у ній. Окрім того, розподіл функцій керування між апаратною та програмною частиною недостатньо визначений або не обґрунтований. Можливості модернізації та розширення функціональності не розглянуті.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою роботи є визначення структури системи автоматичного керування ЗМР з гідробіонічним рушієм та основних принципів організації роботи САК плавниковим рушієм типу тунця (ТТ). Практичною задачею є розробка структури системи керування ЗМР, визначення вимог до складу обладнання та взаємодії окремих елементів системи керування, структури та можливості реалізації системи керування рухом АНПА із плавниковим рушієм типу тунця.

МЕТОДИ, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Методи дослідження – для вирішення поставлених завдань використовуються методи комп'ютерного моделювання, спеціальних розділів теорії автоматичного керування у частині синтезу нелінійних та дискретних систем керування, системи автоматизованого проектування САК.

Об'єкт дослідження – експериментальна модель САК плавниковим гідробіонічним рушієм ТТ.

Предмет дослідження – апаратна та програмна частини САК рушія як складові ієрархічної САК ЗМР.

Проблема, що вирішується, – побудова дослідницької САК плавниковим гідробіонічним рушієм як елемента ієрархічної САК ЗМР.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

З 2000-х років у якості основного керуючого елемента системи керування використовуються мікроконтролери [10]. Причому практично одразу використовувалася узагальнена ієрархічна багаторівнева структура [1, 11]. Кількість рівнів багато в чому залежить від складності моделі ЗМР та уподобань автора – від класичної із трьома рівнями (стратегічний, оперативний, виконавчий) [1] до можливості відокремлення рівнів керування для кожного з'єднання гідробіонічного рушія. При цьому така стратегія розповсюджується як на СК, так і на математичні та імітаційні моделі [11; 12]. Окрема увага придается верифікації моделей та оптимізації їх параметрів [12; 13]. Крім цього, в роботі [13] запропоновано використовувати в якості еталона геометричні параметри положення елементів рушія. У подальшому це використовувалося в якості геометричних шаблонів (pattern) стану безпосередньо [14; 15] або в якості початкових даних для СК [16].

Із 2000-х років стала помітна тенденція використання типових стандартів і рішень в побудові апаратної частини СК із використанням серійних контролерів та мікроЕОМ стандартів microPC та PC-104 [16–18]. Одночасно рішення основних задач керування все більш переноситься на програмну частину СК. Ієрархічна структура загальної СК використовується як у моделях, так і в кінцевій СК. Однак до структури додаються окремим рівнем датчики та схеми перетворення (віртуальні прилади) [18]. При цьому

рівень виконавчих механізмів описується за допомогою типових методів безперервних систем керування – динамічних структурних схем.

Найбільш детально та зв'язано проблему взаємопов'язаності проектування системи керування та самого рушія висвітлено в [19; 20]. Але і в цьому випадку зв'язок розглядається на рівні математичних рівнянь механіки без урахування як кінематики (нелінійні процеси перетворення руху), так і енергетики. Результати цих робіт можна використовувати скоріш в якості напрямку подальшого дослідження, ніж довідника для розробки реальних пристроїв керування.

У різні роки робилися спроби досліджувати системи керування з елементами fuzzy логіки, нейронних мереж та з використанням механізмів простору завдань у складі систем керування. Однак в основному для простих рухів та традиційних гвинтових рушіїв [21–26]. Деякі автори наводять архітектуру апаратних засобів систем керування та в загальному вигляді – розподілення задач керування окремими задачами (системи робота або ступені рухомості) [27].

У роботі [28] наведена найбільш структурована послідовність аналізу і синтезу систем керування рухом підводного робота. Під час використання модульного підходу можливо аналізувати вплив окремих елементів та моделей на загальні характеристики САК.

Автори в роботі [29] використовують принципи наглядного (наочного) проектування – використовують програмні засоби проектування (наприклад, Solidworks) та типові засоби модульного «конструктора» – сервоприводи та стандартні модулі драйверів, інтерфейсів та ін. На відміну від цього підходу, автори в [30] пропонують використовувати для створення систем керування підводним роботом спеціально створені для цих задач апаратні засоби та використовувати операційну систему реального часу. Можливе масштабування системи.

Виходячи з наведеного вище, пропонується обмежити складність структури САК трьома рівнями:

А. Стратегічний (навігація, траєкторний рух).

Б. Оперативне керування (вектор або вектори тяги для САК рухом).

В. Виконавчий рівень (САК рушієм, напруга та струм у функції часу та кутових параметрів елементів рушія).

При цьому передбачається, що кожен рівень сам є складною системою і може складатися з декількох підрівнів. Крім того, вид математичного апарата, що буде використовуватися для кожного рівня, не обмежується конкретним загальним типом. Це означає, що одночасно на різних рівнях або у складі різних підсистем одного рівня можуть використовуватися як класичні методи (ПД-регулятори, адаптивні регулятори, робастні системи та інші), так і системи з використанням штучних нейронних мереж та інші сучасні методи.

При цьому загальний підхід до синтезу є класичним – формування вимог, визначення структури математичної моделі, моделювання і визначення вимог до апаратної та програмної частин САК, виготовлення експериментального зразка та відпрацювання схемних та програмних рішень щодо реалізації САК.

Для плавникового рушія ТТ характерним є наявність шістьох відрізків у циклі руху плавника і, відповідно, шістьох положень ланок механізму рушія. Положення однозначно визначаються кутом повороту вихідного валу мотор-редуктора. Для експериментальної моделі рушія [31] це, відповідно, кути 12, 112, 140, 202, 314 градусів. Кути 12 і 112 градусів відповідають положенню «лівий борт» з перекладенням плавника, кути 202, 314 градусів – «правий борт» з перекладенням плавника. Кути 140 і 336 градусів – положенню стебла вздовж діаметральної площини АНПА – відповідають максимальному тяговому зусиллю [32; 33].

Таким чином, можливо сформулювати такі вимоги до складу апаратної частини САК плавниковим рушієм ТТ:

- забезпечити можливість відстежувати положення вихідного валу мотор-редуктора для визначення відрізків у циклі руху плавника і переходу між ними;
- забезпечити можливість формування струму електродвигуна мотор-редуктора з мінімальним запізнюванням для формування потрібного закону керування;
- забезпечити можливість прийому-передачі даних між САК рушієм та САК вищого рівня;
- закласти можливість масштабування – розширення можливостей за об'ємом пам'яті програм та даних у бік розширення з мінімально можливими затратами часу та ресурсів.

Основні вимоги для програмної частини САК плавниковим рушієм ТТ:

- забезпечити можливість роботи в режимі реального часу як із датчиками, так і з вихідними пристроями;
- за рахунок модульності конфігурації забезпечити можливість формування необхідних законів керування;
- передбачити можливість протоколювання експерименту.

Відповідно до вищевказаного визначимо перелік необхідних елементів структурної схеми, послідовність та напрям їх взаємодії. САК повинна містити такі структурні елементи:

- блок логіки керування, який би здійснював комутацію напівпровідникового ключа транзистора в заданій послідовності та із заданими затримками часу;
- блок АЦП для перетворення неперервних сигналів датчиків на цифровий код;
- систему спряження силової та слабкострумової частин;
- послідовний інтерфейс для зв'язку з САК вищого рівня або керуючою ЕОМ.

САК буде замкненою за положенням та буде здійснювати програмне керування частотою обертання вихідного валу мотор-редуктора. Визначення функції обертів ротора буде прямим, тобто за показниками датчиків.

Таким чином, необхідно спроектувати систему керування обертами однофазного колекторного двигуна постійного струму (мотор-редуктора) в залежності від параметрів, заданих програмно.

Відповідно до опису, приведеного вище, складемо структурну схему системи керування – рисунок 1. На схемі використані такі позначення: БЛК – блок логіки керування; СЧ – силова частина; ДПС – двигун постійного струму; Р – редуктор; АЦП – аналогово-цифровий перетворювач; ІЗ – інтерфейс зв'язку; ДС – датчик струму; ДН – датчик напруги; ДП – датчики положення; f – сигнал керування; f^* – підсилений сигнал керування, ω – кутова швидкість валу двигуна; α – кут повороту валу редуктора; I – струм якоря; U – напруга на двигуні.

Такі елементи структурної схеми як БЛК, АЦП, ІЗ можуть бути як дискретними, так і інтегрованими в один керуючий пристрій.

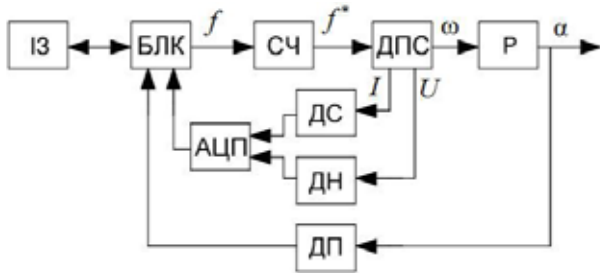


Рис. 1. Структурна схема системи автоматичного керування

У складі рушія використовується мотор-редуктор типу 17.3730 (внутрішнє позначення виробника) – колекторний двигун постійного струму з вбудованим редуктором [34]. Мотор-редуктор 17.3730 має такі параметри (таблиця 1).

Таблиця 1. Параметри мотор-редуктора 17.3730

Параметр	Розмірність	Значення
Потужність, P_n	Вт	16
Номинальна частота обертання вихідного валу, $n_{ном}$	об/хв	65
Номинальна напруга, U_n	В	12
Номинальний струм, I_n	А	3,5
Опір якоря, R_a	Ом	2,4
Номинальний момент, M_n	Н·м	1,47
Коефіцієнт передачі редуктора		60

У якості основного елемента САК використовуємо Atmega16A – 8-и бітний RISC мікроконтролер з достатньою виробністю та об'ємами пам'яті даних та програм [35]. Схема використання – базова.

За необхідності можлива заміна на Atmega32A – має в двічі більший об'єм пам'яті програм для реалізації більш складних алгоритмів – зміни в апаратній частині при цьому не потрібні. Елементи стабілізації напруги живлення та формування опорної напруги, драйвер інформаційного зв'язку – 7805, TL431 і ST-485 фірми STMicroelectronics [36–38]. Силовий вентиль – полівій транзистор IRF540 фірми International Rectifier [39]. Датчики положення – датчики Холла серії SS40 фірми Honeywell [40]. Принципова схема САК електроприводом гідробіонічного рушія плавникового ТТ, готову до реалізації, наведено на рисунку 2. Перелік елементів – у таблиці 2.

Для фізичного здійснення алгоритму керування потрібно розробити програмне забезпечення. Згідно з ГОСТ 19.002-80 складемо блок-схему програмного забезпечення для мікроконтролеру (рисунок 3).

Блок «Налаштування портів» (1) потрібен для визначення напрямку передачі даних, т.ч. кожний порт мікроконтролеру ATmega16-16PU може бути як цифровим входом так і цифровим виходом. Порти, що підключені до джерел зовнішніх сигналів, визначаємо як входи, а порти, що генерують керуючі сигнали, – як виходи. Блок «Налаштування USART» (2) служить для визначення швидкості приємопередачі (обираємо 19200 бодів), режиму роботи (обираємо асинхронний), формату кадру (кількість інформаційних бітів обираємо 8, кількість стопових бітів – 1, біти паритету не використовуємо), роботи переривань (активуємо переривання за прийнятим байтом та переривання за відправленим байтом). Також у блоці (2) вмикаємо модуль USART та вмикаємо його на прийняття даних.

Таймери-лічильники потрібні для створення систем реального часу. Синхронізація таймерів-лічильників відбувається від кварцового резонатору. Блок «Налаштування таймерів» (3) потрібен для визначення частоти, режиму роботи (обираємо режим таймера) та числа до якого буде вестися відлік. Також активуємо переривання таймерів за переповненням та вмикаємо їх.

Блок «Ініціалізація SRAM» (статична ОЗП) (4). Ініціалізація ОЗУ проводиться з тих обставин, що при подачі живлення на МК, в комірки пам'яті пишуться випадкові значення. Після ініціалізації, записуємо в пам'ять початкові дані: індикації немає, швидкість нульова.

АЦП приймає й перетворює сигнали з аналогових датчиків на цифровий код. Блок «Налагодження АЦП» (5) потрібен для того, щоб визначити зміщення десятибітного результату (обираємо зміщення вправо), обрати кількість каналів (обираємо 2), визначити джерело опорної напруги (обираємо зовнішнє), режим перетворювання (обираємо ручний) та частоту перетворювання (обираємо подільник тактової частоти 64, тобто частота перетворювання АЦП складає 115200Гц). Активуємо переривання по закінченню перетворювання.

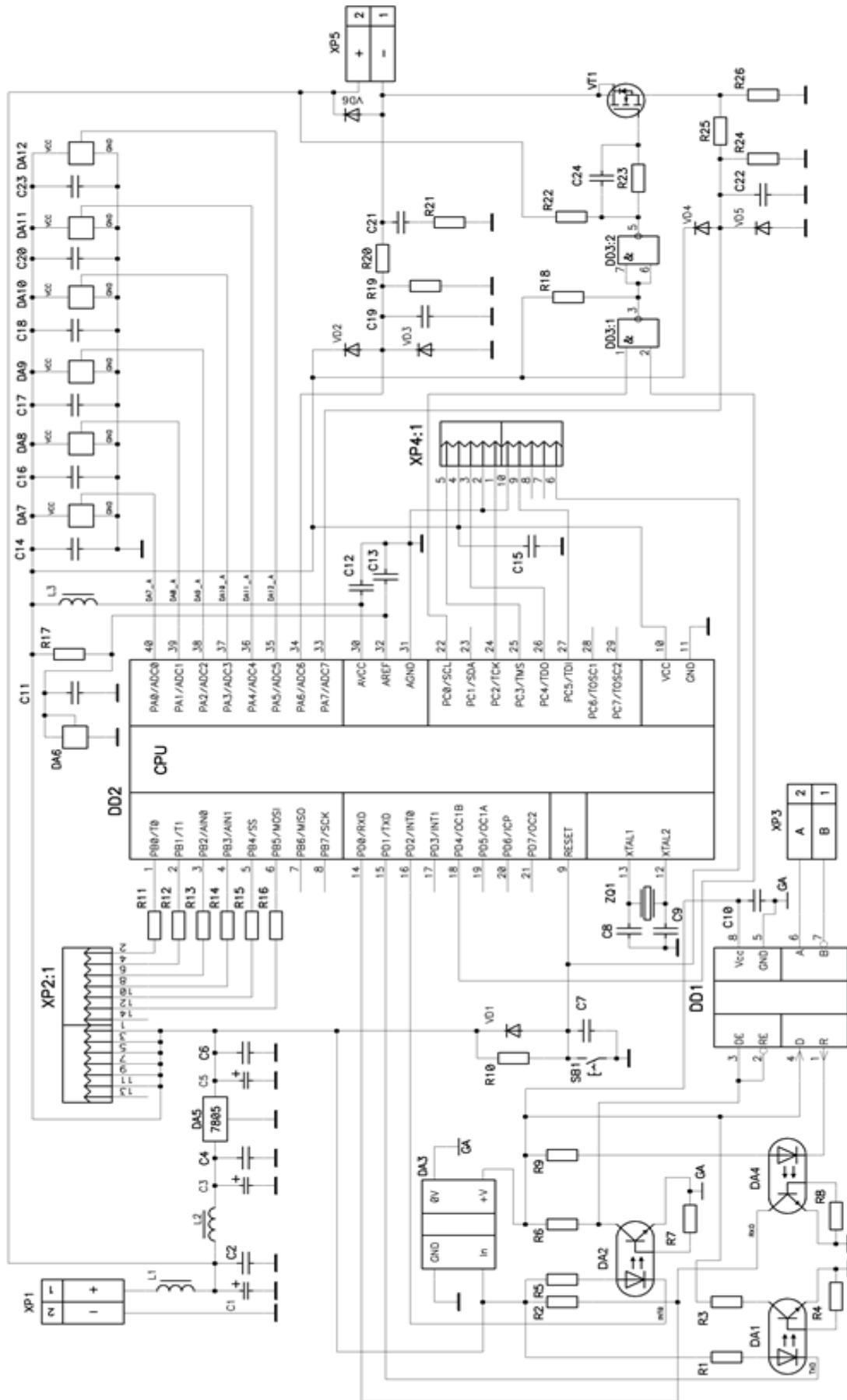


Рис. 2. Принципова схема системи керування електроприводом гідробічного рушія плавникового ТТ

Таблиця 2. Перелік елементів

Поз. позн.	Найменування	Кількість	Примітки
Мікросхеми			
DD1	ST485BN	1	Інтерфейс RS485
DD2	ATmega16-16PU	1	Мікроконтролер
DD3	K155ЛА18	1	2 ел. ТАК-НІ
DA1, DA2, DA4	4N35	3	Оптрони
DA3	P6CU-0505ELF	1	DC/DC – перетворювач
DA5	L7805	1	Лінійний стабілізатор
DA6	TL431	1	Стабістор
DA7-DA12	SS41	6	Датчики Холла
Пасивні елементи			
VD1-VD6	1N4148	6	Діоди
R1, R5, R9, R11-R17, R25	MLT 0,25-620 Ом ±5%	11	
R2, R3, R6, R10, R18, R19, R22	MLT 0,25-3,9 кОм ±5%	7	
R4, R7, R8	MLT 0,25-750 кОм ±5%	3	
R20, R24	MLT 0,25-22 кОм ±5%	2	
R21	MLT 0,25-51 Ом ±5%	1	
R23	MLT 0,25-10 Ом ±1%	1	
R26	MLT 5,0-0,2 Ом ±1%	1	Шунт
C1, C3, C5	K50-25 25B-47мкФ ±20%	3	
C2, C4, C6, C7, C10-C20, C22, C23, C25, C26, C27	K73-15 25B-0,1мкФ ±10%	20	
C8, C9	K73-15 25B-22 пФ ±10%	2	
C21	K73-15 25B-22 пФ ±10%	1	
C24	K73-15 630B-22 нФ ±10%	1	
L1-L3	100 мГн	3	
ZQ1	7.3728 МГц	1	
SB1		1	
VT1	IRF540	1	
XP1, XP3, XP5	2EDG-5.08-02p-14	3	Роз'єми
XP2	IDC-14	1	Роз'єм
XP4	IDC-10	1	Роз'єм

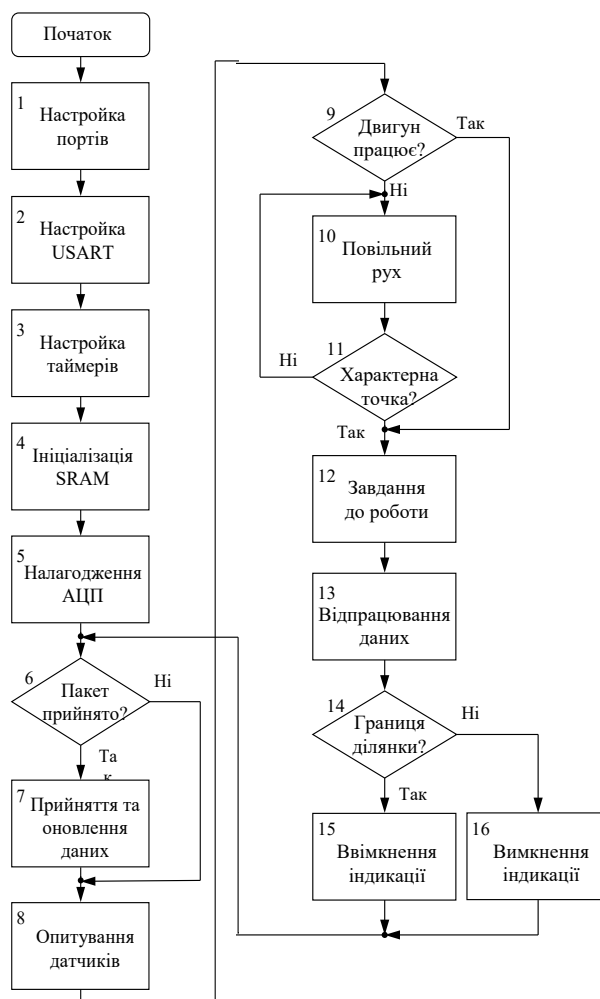


Рис. 3. Блок-схема алгоритму роботи мікроконтролеру

Блок «Пакет прийнято?» (6) визначає наявність у приймальному буфері нового завдання до роботи. Саме завдання представляє собою масив режимів роботи на кожній із шести ділянок (таблиця з шести чисел). За наявності нового завдання з пам'яті видаляється попереднє та записується нове (блок 7). За відсутності – мікроконтролер виконує завдання, яке записано у пам'яті.

За наявності інформації до роботи мікроконтролер опитує датчики (блок 8) та записує значення у змінні. Усього існує 8 змінних – 6 для датчиків положення, 2 для значення напруги та струму. Блок (9) визначає наявність чи відсутність обертів двигуна. Якщо до цього часу кутова швидкість двигуна моторредуктора дорівнювала нулю, то нам невідомо, на якій ділянці руху знаходиться його вал. Враховуючи те, що датчики знаходяться на границях ділянок (у характерних точках), нам потрібно повернути вал моторредуктора до спрацювання будь-якого датчика. Блок (10) забезпечує повільний рух зі швидкістю 10% від номінальної, а блок (11) визначає, на яку ділянку перейшов вал моторредуктора (при спрацюванні відповідного датчика).

Після визначення ділянки, яку буде проходити вал моторредуктора, блок (12) загрузає з пам'яті завдання до роботи на цій ділянці та формує необхідний закон керування.

Блок (13) відправляє значення датчиків до керуючої ЕОМ.

Блок (14) звертається до відповідного датчика, який визначає границю поточної ділянки. Якщо границя досягнута, вмикається індикація (блок 15). Якщо границя не досягнута, блок (16) перевіряє, чи вимкнута індикація, якщо ні – вимикає.

Розробка алгоритму роботи для ЕОМ

У кожному з режимів роботи МК отримує керуючі сигнали з ЕОМ. Виходячи із цього, ЕОМ потрібна мати відповідне програмне забезпечення.

Вимоги до програмного забезпечення ЕОМ:

- можливість керування МК через інтерфейс RS-485;
- можливість роботи з віртуальним послідовним портом;
- можливість настройки порту введення-виведення;
- оброблювання показників датчиків у реальному часі;
- можливість зміни режиму керування.

Програма буде запускатися в окремому вікні. Вона повинна мати шість полів для вводу даних по кожній з ділянок та кнопки «Відіслати», «СТОП». Також необхідно створити при поля для відображення результатів вимірювання напруги, струму та положення та шість полів для відображення поточного завдання по кожній з ділянок.

ОБГОВОРЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Встановлено, що побудова САК гідробіонічним рушієм ТТ можлива в рамках реалізації виконавчого рівня (рівень В) САК ЗМР. При цьому САК рушієм забезпечує формування струму двигуна у функції часу та кутових параметрів елементів рушія, можливе корегування в залежності від величини напруги живлення. Загальний алгоритм роботи складається із двох рівнів – алгоритму роботи виконавчого пристрою (САК плавниковим рушієм ТТ) та алгоритму роботи САК вищого рівня – оперативного рівня Б – формування векторів тяги рушія шляхом завдання окремих режимів роботи для кожного з шістьох ділянок циклу роботи плавникового рушія ТТ.

ВИСНОВКИ

Виконано огляд та короткий аналіз наявних систем керування ЗМР, що дало змогу сформулювати актуальне наукове завдання визначення структури системи автоматичного керування ЗМР із гідробіонічним рушієм та основних принципів організації роботи САК плавниковим рушієм типу тунця.

Уперше запропоновано структуру САК плавникового рушія типу тунця, до складу якої входить модель кінематики рушія ТТ, що дає змогу підвищити точність і забезпечити керованість на всіх ділянках циклу роботи плавникового рушія типу тунця.

Розроблено блок-схему алгоритму роботи мікроконтролера, що дає змогу реалізовувати необхідні закони керування плавниковим рушієм.

Подальші дослідження передбачають уточнення математичних моделей, розробку діючого зразка САК та рушія і дослідження їх роботи в комплексі.

REFERENCES

- [1] Ageev, M. D. (2005). Avtonomnie podvodnie roboti: sistemi i tehnologii. In-t problem morskikh tehnologij. M.: Nauka. 398. ISBN 5-02-033526-6.
- [2] Kelly, S., Mason, R., Anhalt, C., Murray, R. and Burdick, J. (1998). Modelling and experimental investigation of carangiform locomotion for control. [In American Control Conference, 1998]. Proceedings of the 1998, vol. 2, pp. 1271–1276. Retrieved from: <https://authors.library.caltech.edu/3923/1/KELacc98.pdf>
- [3] Sfakiotakis, M., Lane, D. and Davies, J. (1999). Review of fish swimming modes for aquatic locomotion. [IEEE Journal of Oceanic Engineering], vol. 24, no. 2, pp. 237–252. DOI: 10.1109/48.757275
- [4] J. Yuh. (2000). Design and Control of Autonomous Underwater Robots: A Survey. [Autonomous Robots], vol. 8, pp 7–24. DOI: 10.1023/A:1008984701078
- [5] Kelly, S. D. and Murray, R. M. (2000). Modeling efficient pisciform swimming for control, International Journal of Robust and Nonlinear Control, 10(4): 217–241. Retrieved from: <http://www.cds.caltech.edu/~murray/preprints/km00-ijrnc.pdf>
- [6] Morgansen, K. A., Duindam, V., Mason, R. J., Burdick, J. W. and Murray, R. M. (2001). Nonlinear control methods for planar carangiform robot fish locomotion. Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on Robotics & Automation, Seoul, Korea, pp. 427–434. DOI: 10.1109/ROBOT.2001.932588
- [7] Morgansen, K. A., Vela, P. A. and Burdick, J. W. (2002). Trajectory stabilization for a planar carangiform robot fish. Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Robotics and Automation, vol. 1, pp. 756–762. DOI: 10.1109/ROBOT.2002.1013449
- [8] Liu, J. Hu, H. (2003). Building a Simulation Environment for Optimising Control Parameters of an Autonomous Robotic Fish. Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. September, 2003, pp. 317–322. Retrieved from: <https://pdfs.semanticscholar.org/718c/ddbea602de926595d4375ae0f55f45c06b51.pdf>
- [9] Read, D.A., Hover, F.S., Triantafyllou, Michael. (2003). Forces on oscillating foils for propulsion and maneuvering. Journal of Fluids and Structures 17 (1) :163–183. DOI: 10.1016/S0889-9746(02)00115-9
- [10] Tzeranis, D., Papadopoulos, E. and Triantafyllou, G. (2003). On the Design of an Autonomous Robot Fish. Proceedings of the 11th IEEE Mediterranean Conf. on Control and Automation (MED 2003), Rhodes, pp. 17–20.

URL: https://www.researchgate.net/profile/Evangelos_Papadopoulos2/publication/242295282_On_the_Design_of_an_Autonomous_Robot_Fish/links/0c960528c3886e4f0a000000/On-the-Design-of-an-Autonomous-Robot-Fish.pdf

- [11] Liu, J. and Hu, H. (2004). A 3D simulator for autonomous robotic fish. *International Journal of Automation and Computing*, vol. 1, pp. 42-50, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11633-004-0042-5>
- [12] Liu, J. and Hu, H. (2004). Building a 3D Simulator for Autonomous Navigation of Robotic Fishes, *Proceedings. Of 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Japan*. DOI: 10.1109/IROS.2004.1389420
- [13] Liu, J., Dukes, I., Knight, R. and Hu, H. (2004). Development of fish-like swimming behaviours for an autonomous robotic fish. In *Proceedings of Control 2004*. Corpus ID: 17108328, Retrieved from: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.597.3212&rep=rep1&type=pdf>
- [14] Lachat, D., Crespi, A. and Ijspeert, A. J. Boxybot: a swimming and crawling fish robot controlled by a central pattern generator. (2006). In *Proceedings of The first IEEE/RASEMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechanics (BioRob 2006)*. DOI: 10.1109/BIOROB.2006.1639162
- [15] Crespi, A., Lachat, D., Pasquier, A., Ijspeert, A.J. (2008). Controlling swimming and crawling in a fish robot using a central pattern generator. *Auton. Robots.*, vol. 25, pp 3–13. Retrieved from: https://www.researchgate.net/profile/AJ_Ijspeert/publication/37466318_Controlling_swimming_and_crawling_in_a_fish_robot_using_a_central_pattern_generator/links/004635212447646beb000000/Controlling-swimming-and-crawling-in-a-fish-robot-using-a-central-pattern-generator.pdf
- [16] Mustafa Ay, Deniz Korkmaz, Gonca Ozmen Koca, Cafer Bal, Zuhtu Hakan Akpolat and Mustafa Can Bingol. (2018). Mechatronic Design and Manufacturing of the Intelligent Robotic Fish for Bio-Inspired Swimming Modes. *Electronics* vol. 7, p. 118. DOI: 10.3390/electronics7070118.
- [17] Side Zhao and Junku Yuh, (2005). Experimental Study on Advanced Underwater Robot Control. *IEEE transactions on robotics*, vol. 21, no. 4. DOI: 10.1109/TRO.2005.844682
- [18] Williams, S.B., Newman, P., Rosenblatt, J., Dissanayake, G., White, H.D. Autonomous underwater navigation and control. (2001). *Robotica* vol. 19, pp. 481–496. Retrieved from: https://www.researchgate.net/profile/Stefan_Williams2/publication/231965023_Autonomous_underwater_navigation_and_control/links/0912f50c80a9af0c23000000/Autonomous-underwater-navigation-and-control.pdf
- [19] Vervoort, J.H.A.M. (2008). Modeling and Control of an Unmanned Underwater Vehicle. University of Canterbury. New Zealand. p 119. Retrieved from: <http://www.mate.tue.nl/mate/pdfs/10894.pdf>
- [20] William Duncan Lewis Booth. (2006). Modeling and Control of a Biorobotic Autonomous Underwater vehicle. Massachusetts Institute of Technology. 138 p. Retrieved from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6639391>
- [21] Szymak, P., Malecki, J. Control System of Underwater Vehicle Based on Artificial Intelligence Methods. (2008). In *Automation and Robotics*, pp. 285-296, Vienna. Retrieved from: https://www.intechopen.com/books/automation_and_robotics/control_system_of_underwater_vehicle_based_on_artificial_intelligence_methods
- [22] System Design and Control System of An Autonomous Underwater Robot “AquaBox”. Eriguchi, Yu at all. (2007). AUVSI&ONR’s 10th International Autonomous Underwater Vehicle Competition Journal Paper, pp. KIT-1 to KIT-9. URL: https://pdfs.semanticscholar.org/35eb/a2e44bfbcb61cd874873996fbd9980b8f8afe.pdf?_ga=2.228707998.322728048.1586342690-1597667164.1586342690
- [23] Blincov, V.S., Blincov, S.V., Vakar, R.V. (2010). Suchasni zadachi cyntezu system avtomatychnogo keruvannja avtonomnyy pidvodnyy aparatamy. *Elektronnyj visnyk NUK, №3*. Retrieved from: <http://evn.nuos.edu.ua/article/download/24904/22362>
- [24] Ismail, Z.H. (2011). Task-Space Dynamic Control of Underwater Robots. Thesis submitted for the Degree of Doctor of Philosophy. Heriot-Watt University. P. 164. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/4870/e71033dd10ce9bdc42ab9acd848671337f90.pdf>
- [25] Eski, I., Yidirim, S. (2014). Design of neural network control system for controlling trajectory of autonomous underwater vehicles, *International Journal of Advanced Robotics Systems*. 11: 1-17. DOI: 10.5772/56740
- [26] Oskin, D.A., Dyda, A.A., Longhi, S., Monteriù, A. (2015). Underwater Robot Intelligent Control Based on Multilayer Neural Network. *Advances in Intelligent Robotics and Collaborative Automation, 2015*, pp. 147–166. DOI: 10.1109/IDAACS.2013.6663061
- [27] Cristiano, Z.F., Gerson, Y.C.C., Juan, P.J.A., Renato, C.P., Thiago, M.C.R. (2014). Underwater robotic vehicle for ship hull inspection: control system architecture. *ABCm Symposium Series in Mechatronics, Section V – Mobile Robotics*. Vol. 6, p. 622–632. Retrieved from: http://abcm.org.br/upload/files/PI_V_02%281%29.pdf
- [28] Blincov, V.S., Voljansky S.M. (2015). Syntez i doslidjennja system avtomatychnogo keruvahhja rushijno-kermovym kompleksom pidvodnogo aparata. *Vostochno-Evropejsky zhurnal peredovyh tehnologij. 5/2 (77)*. P. 58–63. DOI: 10.15587/1729-4061.2015.51708
- [29] Kappagantula, S., Ramadass, G.A., Adlinge, S.D. (2018). Design of a Biomimetic Robot Fish for Realization of Coefficient of Drag with Control Architecture and Fuzzy Logic Algorithm for Autonomous Obstacle Avoidance. 2018 3rd International Conference for Convergence in Technology (I2CT) The Gateway Hotel, XION Complex, Wakad Road, Pune, India. DOI: 10.1109/I2CT.2018.8529423
- [30] Kochetov, O.U., Ostrovsky, A.G., Volkov, S.V., Olshansky, V.M. (2018). Unifitsirovannaja apparatno-programmnaja platforma sistemy upravlenija avtonomnyh podvodnyh profilirujuschih apparatov. *Podvodnye issledovsnija I robototehnika. № 1(25)*, p. 59–66. Retrieved from: https://www.researchgate.net/profile/Alexander_Ostrovskii/publication/326344311_A_

HARDWARE AND SOFTWARE PLATFORM UNIFIED FOR CONTROL SYSTEMS OF AN AUTONOMOUS UNDERWATER PROFILING VEHICLES/links/5b46e7f745851519b4b08c04/A-HARDWARE-AND-SOFTWARE-PLATFORM-UNIFIED-FOR-CONTROL-SYSTEMS-OF-AN-AUTONOMOUS-UNDERWATER-PROFILING-VEHICLES.pdf

- [31] Blincov, V.S., Olshevsky, S.I. (2012). Modelirovanie gidrobionicheskogo dvizhetelja plavnikovogo tipa dlja zadach sinteza system upravlenija. Naukovyj visnik Khersonskoi derzhavnoi morskoi akademii.– Kherson: HDMA, № 6 . P. 211–224. URL: http://kma.ks.ua/ua/images/science/publications/2012/1_6/blincov.pdf
- [32] Olshevsky, S.I. (2010). Modelirovanie dvizhetelja plavnikovogo tipa. Problemy avtomatiki ta elektrobladnannja transportnyh zasobiv: Materialy Mizhnarodnoi naukovo-tehyschnoi konferencii. Mikolajiv: NUK. Pp 87–89. ISBN 978–966–321–155–8
- [33] Blincov, V.S., Olshevsky, S.I. (2012). Matematicheskoe modelirovanie dvizhenija elementov gidrobionicheskogo dvizhetelja plavnikovogo tipa. Pidvodna tehnika i tehnologija PTT-2012: Materialy Vseukrainskoi naukovo-tehyschnoi z mizhnarodnoju uchastju. Mikolajiv: NUK. Pp. 99–102. Retrieved from: <http://eir.nuos.edu.ua/xmlui/bitstream/handle/123456789/1358/Blintsov3.pdf?sequence=1>
- [34] Elektrodvigatel 3730. Spravochnaja informacija. Elektrodvigatel 17.3730. URL: <http://avtocom.com/catalog/item/17-3730.htm>.
- [35] ATmega16A: 8-bit Microcontroller with 16K Bytes In-System Programmable Flash. DATASHEET. (2014). Atmel Corporation. 335 p. URL: http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/atmel-8154-8-bit-avr-atmega16a_data-sheet.pdf
- [36] L78 series datasheet: positive voltage regulators ICs. (2018). ST Microelectronics. 55 p. URL: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/l78.pdf>
- [37] TL431, TL432: Automotive adjustable voltage. Datasheet – production data (2017). ST Microelectronics. 21 p. URL: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/tl431.pdf>
- [38] AN1348 APPLICATION NOTE. ST485: AN RS-485 BASED INTERFACE WITH LOWER DATA BIT ERRORS (2004). ST Microelectronics. – 12p. Retrieved from: https://www.st.com/resource/en/application_note/cd00004227-st485-an-rs485-based-interface-with-lower-data-bit-errors-stmicroelectronics.pdf
- [39] IRF540: LOW GATE CHARGE STripFET™ II POWER MOSFET. (2003). International Rectifier. 18 p. URL: <https://global.oup.com/us/companion.websites/fdscontent/uscompanion/us/pdf/microcircuits/students/mos/IRF540-st.pdf>
- [40] SS40A/SS50AT Series: bipolar Hall-Effect digital position sensor. (2004). Honeywell. 5 p. URL: <http://www.farnell.com/datasheets/93759.pdf>

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Агеев М.Д. (Ред). (2005). Автономные подводные роботы: системы и технологии; Ин-т проблем морских технологий. Москва : Наука. 398 с. ISBN 5-02-033526-6.
- [2] Kelly, S., Mason, R., Anhalt, C., Murray, R. and Burdick, J. (1998). Modelling and experimental investigation of carangiform locomotion for control. *In American Control Conference*. vol. 2, pp. 1271–1276. URL: <https://authors.library.caltech.edu/3923/1/KELacc98.pdf>.
- [3] Sfakiotakis, M., Lane, D. and Davies, J. (1999). Review of fish swimming modes for aquatic locomotion. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*. vol. 24, no. 2, pp. 237–252. DOI: 10.1023/A:1008984701078.
- [4] J. Yuh. (2000). Design and Control of Autonomous Underwater Robots: A Survey. *Autonomous Robots*. vol. 8, pp 7–24. DOI: 10.1023/A:1008984701078.
- [5] Kelly, S. D. and Murray, R. M. (2000). Modeling efficient pisciform swimming for control. *International Journal of Robust and Nonlinear Control*. vol. 10(4): 217–241. URL: <http://www.cds.caltech.edu/~murray/preprints/km00-ijrnc.pdf>.
- [6] Morgansen, K. A., Duindam, V., Mason, R. J., Burdick, J. W. and Murray, R. M. (2001). Nonlinear control methods for planar carangiform robot fish locomotion. *Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on Robotics & Automation*, Seoul, Korea, pp. 427–434. DOI: 10.1109/ROBOT.2001.932588.
- [7] Morgansen, K. A., Vela, P. A. and Burdick, J. W. (2002). Trajectory stabilization for a planar carangiform robot fish. *Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, vol. 1, pp. 756–762. DOI: 10.1109/ROBOT.2002.1013449.
- [8] Liu, J., Hu, H. (2003). Building a Simulation Environment for Optimising Control Parameters of an Autonomous Robotic Fish. *Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*. September, 2003, pp. 317–322. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/718c/ddbea602de926595d4375ae0f55f45c06b51.pdf>.
- [9] Read, D.A., Hover, F.S., Triantafyllou, Michael. (2003). Forces on oscillating foils for propulsion and maneuvering. *Journal of Fluids and Structures* 17 (1) :163–183. DOI: 10.1016/S0889-9746(02)00115-9.
- [10] Tzeranis, D., Papadopoulos, E. and Triantafyllou, G. (2003). On the Design of an Autonomous Robot Fish. *Proceedings of the 11th IEEE Mediterranean Conf. on Control and Automation (MED 2003)*, Rhodes, pp. 17–20. URL: https://www.researchgate.net/profile/Evangelos_Papadopoulos2/publication/242295282_On_the_Design_of_an_Autonomous_Robot_Fish/links/0c960528e3886e4f0a000000/On-the-Design-of-an-Autonomous-Robot-Fish.pdf.
- [11] Liu, J. and Hu, H. (2004). A 3D simulator for autonomous robotic fish. *International Journal of Automation and Computing*, vol. 1, pp. 42–50, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11633-004-0042-5>.

- [12] Liu, J. and Hu, H. (2004). Building a 3D Simulator for Autonomous Navigation of Robotic Fishes, *Proceedings. Of 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Japan. DOI: 10.1109/IROS.2004.1389420.
- [13] Liu, J., Dukes, I., Knight, R. and Hu, H. (2004). Development of fish-like swimming behaviours for an autonomous robotic fish. *In Proceedings of Control 2004*. URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.597.3212&rep=rep1&type=pdf>.
- [14] Lachat, D., Crespi, A. and Ijspeert, A. J. Boxybot: a swimming and crawling fish robot controlled by a central pattern generator. (2006). *In Proceedings of The first IEEE/RASEMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechanics (BioRob 2006)*. DOI: 10.1109/BIOROB.2006.1639162.
- [15] Crespi, A., Lachat, D., Pasquier, A., Ijspeert, A.J. (2008). Controlling swimming and crawling in a fish robot using a central pattern generator. *Auton. Robots.*, vol. 25, pp 3–13. URL: https://www.researchgate.net/profile/AJ_Ijspeert/publication/37466318_Controlling_swimming_and_crawling_in_a_fish_robot_using_a_central_pattern_generator/links/004635212447646beb000000/Controlling-swimming-and-crawling-in-a-fish-robot-using-a-central-pattern-generator.pdf.
- [16] Mustafa Ay, Deniz Korkmaz, Gonca Ozmen Koca, Cafer Bal, Zuhtu Hakan Akpolat and Mustafa Can Bingol. (2018). Mechatronic Design and Manufacturing of the Intelligent Robotic Fish for Bio-Inspired Swimming Modes. *Electronics* vol. 7, p 118. DOI: 10.3390/electronics7070118.
- [17] Side Zhao and Junku Yuh, (2005). Experimental Study on Advanced Underwater Robot Control. *IEEE transactions on robotics*, vol. 21, no. 4. DOI: 10.1109/TRO.2005.844682.
- [18] Williams, S.B., Newman, P., Rosenblatt, J., Dissanayake, G., White, H.D. (2001). Autonomous underwater navigation and control. *Robotica* vol. 19, pp 481–496. URL: https://www.researchgate.net/profile/Stefan_Williams2/publication/231965023_Autonomous_underwater_navigation_and_control/links/0912f50c80a9af0c23000000/Autonomous-underwater-navigation-and-control.pdf.
- [19] Vervoort, J.H.A.M. (2008). Modeling and Control of an Unmanned Underwater Vehicle. University of Canterbury. New Zealand. p 119. URL: <http://www.mate.tue.nl/mate/pdfs/10894.pdf>.
- [20] William Duncan Lewis Booth. (2006). Modeling and Control of a Biorobotic Autonomous Underwater vehicle. Massachusetts Institute of Technology. 138 p. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6639391>.
- [21] Szymak, P., Malecki, J. (2008). Control System of Underwater Vehicle Based on Artificial Intelligence Methods. *In Automation and Robotics*, pp. 285–296, Vienna. URL: https://www.intechopen.com/books/automation_and_robotics/control_system_of_underwater_vehicle_based_on_artificial_intelligence_methods.
- [22] System Design and Control System of An Autonomous Underwater Robot “AquaBox”. Eriguchi, Yu at all. (2007). *AUVSI&ONR's 10th International Autonomous Underwater Vehicle Competition Journal Paper*, pp. KIT-1 to KIT-9. URL: https://pdfs.semanticscholar.org/35eb/a2e44bfbc6b1cd874873996fbd9980b8fafef.pdf?_ga=2.228707998.322728048.1586342690-1597667164.1586342690.
- [23] Блінцов, В.С., Блінцов, С.В., Вакар, Р.В. (2010). Сучасні задачі синтезу систем автоматичного керування автономними підводними апаратами. *Електронний вісник НУК*, № 3, 2010. URL: <http://evn.nuos.edu.ua/article/download/24904/22362>.
- [24] Ismail, Z.H. (2011). Task-Space Dynamic Control of Underwater Robots. *Thesis submitted for the Degree of Doctor of Philosophy*. Heriot-Watt University. p164. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/4870/e71033dd10ce9bdc42ab9acd848671337f90.pdf>.
- [25] Eski, I., Yidirim, S. (2014). Design of neural network control system for controlling trajectory of autonomous underwater vehicles, *International Journal of Advanced Robotics Systems*. 11: 1-17. DOI: 10.5772/56740.
- [26] Oskin, D.A., Dyda, A.A., Longhi, S., Monteriù, A. (2015). Underwater Robot Intelligent Control Based on Multilayer Neural Network. *Advances in Intelligent Robotics and Collaborative Automation*, 2015, pp 147–166. DOI : 10.1109/IDAACS.2013.6663061.
- [27] Cristiano, Z.F., Gerson, Y.C.C., Juan, P.J.A., Renato, C.P., Thiago, M.C.R. (2014). Underwater robotic vehicle for ship hull inspection: control system architecture. *ABCm Symposium Series in Mechatronics*, Section V – Mobile Robotics. Vol. 6, p. 622–632. URL: http://abcm.org.br/upload/files/PI_V_02%281%29.pdf.
- [28] Блінцов, В.С., Волянський, С.М. (2015). Синтез і дослідження систем автоматичного керування рушійно-кермовим комплексом підводного апарата. *Восточно-Европейський журнал передових технологій*. 5/2 (77). С 58–63. DOI: 10.15587/1729-4061.2015.51708
- [29] Kappagantula, S., Ramadass, G.A., Adlinge, S.D. (2018). Design of a Biomimetic Robot Fish for Realization of Coefficient of Drag with Control Architecture and Fuzzy Logic Algorithm for Autonomous Obstacle Avoidance. *2018 3rd International Conference for Convergence in Technology (I2CT)The Gateway Hotel, XION Complex, Wakad Road, Pune, India*. DOI: 10.1109/I2CT.2018.8529423.
- [30] Кочетов, О.Ю. Островский, А.Г., Волков С.В., Ольшанский В.М. (2018). Унифицированная аппаратно-программная платформа системы управления автономных подводных профилирующих аппаратов. *Подводные исследования и робототехника*. № 1(25) С. 59–66. URL: https://www.researchgate.net/profile/Alexander_Ostrovskii/publication/326344311_A_HARDWARE_AND_SOFTWARE_PLATFORM_UNIFIED_FOR_CONTROL_SYSTEMS_OF_AN_AUTONOMOUS_UNDERWATER_PROFILING_VEHICLES/links/5b46e7f745851519b4b08c04/A-HARDWARE-AND-SOFTWARE-PLATFORM-UNIFIED-FOR-CONTROL-SYSTEMS-OF-AN-AUTONOMOUS-UNDERWATER-PROFILING-VEHICLES.pdf.
- [31] Блинцов В.С., Ольшевский С.И. (2012). Моделирование гидробionicеского движителя плавникового типа для задач синтеза систем управления. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. Херсон : ХДМА, № 6. С. 211–224. URL: http://kma.ks.ua/ua/images/science/publications/2012/1_6/blincov.pdf.

- [32] Ольшевский С.И. (2010). Моделирование двигателя плавникового типа. *Проблеми автоматизації та електрообладнання транспортних засобів: Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції*. Миколаїв : НУК. С. 87–89. ISBN 978–966–321–155–8.
- [33] Блинцов В.С., Ольшевский С.И. (2012). Математическое моделирование движения элементов гидробионического двигателя плавникового типа. *Підводна техніка і технологія ПТТ-2012: Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю*. –Миколаїв : НУК. С. 99–102. URL: <http://eir.nuos.edu.ua/xmlui/bitstream/handle/123456789/1358/Blintsov3.pdf?sequence=1>.
- [34] Электродвигатель 3730. Справочная информация. Электродвигатель 17.3730. URL: <http://avtocom.com/catalog/item/17-3730.htm>.
- [35] ATmega16A: 8-bit Microcontroller with 16K Bytes In-System Programmable Flash. DATASHEET. (2014). Atmel Corporation. 335 p. URL: http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/atmel-8154-8-bit-avr-atmega16a_datasheet.pdf.
- [36] L78 series datasheet: positive voltage regulators ICs. (2018). ST Microelectronics. 55 p. URL: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/l78.pdf>.
- [37] TL431, TL432: Automotive adjustable voltage. Datasheet – production data (2017). ST Microelectronics. 21 p. URL: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/tl431.pdf>.
- [38] AN1348 APPLICATION NOTE. ST485: AN RS-485 BASED INTERFACE WITH LOWER DATA BIT ERRORS (2004). ST Microelectronics. 12 p. URL: https://www.st.com/resource/en/application_note/cd00004227-st485-an-rs485-based-interface-with-lower-data-bit-errors-stmicroelectronics.pdf.
- [39] IRF540: LOW GATE CHARGE STripFET™ II POWER MOSFET. (2003). International Rectifier. 18 p. URL: <https://global.oup.com/us/companion.websites/fdscontent/uscompanion/us/pdf/microcircuits/students/mos/IRF540-st.pdf>.
- [40] SS40A/SS50AT Series: bipolar Hall-Effect digital position sensor. (2004). Honeywell. 5 p. URL: <http://www.farnell.com/datasheets/93759.pdf>.

© В. С. Блінцов, С. І. Ольшевський

Дата надходження статті до редакції: 12.06.2020

Дата затвердження статті до друку: 10.07.2020