

УДК 681.511: 629.127 + 62-526

Даніленко Наталія,
Сімоненко Андрій

**МОДЕЛЬ ПІДВОДНОЇ ЖИТТЄЗДАТНОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ
МІКРОКОНТРОЛЕРА ATMEGA328 ПЛАТФОРМИ ARDUINO UNO**

**MODEL OF UNDERWATER VIABLE SYSTEM BASED
ON ATMEGA328 MICROCONTROLLER ARDUINO UNO PLATFORM**

У статті наведено принцип руху, що може бути застосований для моделі підводної життєздатної системи. Показано спосіб поєднання електричних елементів для створення рухомого підводного апарату на основі платформи Arduino. Зроблено аналіз програмної реалізації моделі, розглянуто функцію «автопілот» для даної системи. Наведено результати тестування.

Ключові слова: підводна життєздатна система, коливання, Arduino Uno, ефект Магнуса, АПА.

Рис.: 5. Бібл.: 14.

The article presents the principle of motion, which can be applied to the model of the underwater viable system. The method of combining electrical elements to create a moving device (submarine) based on the Arduino platform is shown. The analysis of software implementation of the model is made, the "autopilot" function for this system is considered. The results of testing are presented.

Key words: underwater viable system, fluctuations, Arduino Uno, Magnus effect, AUV.

Fig.: 5. Bibl.: 14.

Актуальність теми дослідження. Створення моделі життєздатної системи[1], такої, як малогабаритний неприв'язний автономний підводний апарат (АПА)[2], - досить складний та часозатратний процес, адже необхідно забезпечити адаптивність такої системи та врахувати безліч факторів впливу водного середовища. Для пришвидшення моделювання та реалізації ідей, особливо для конструювання механічних моделей з використанням відповідного програмного забезпечення, все частіше використовується апаратна обчислювальна платформа Arduino. Її низька вартість і крос-платформеність приваблює розробників. Так, за допомогою Arduino можна створювати автономні апарати.

Постановка проблеми. Зазвичай при моделюванні неприв'язних АПА використовуються гвинтові рушії[3], що значною мірою впливає на швидкість руху апарата. ККД гвинтового рушія рідко перевищує позначки 0,5-0,7, при цьому верхня межа вважається дуже високою і досягається лише на малооборотних гвинтових рушіях[3,4]. При швидкому русі (неживого) предмета через воду завихрення утворюються лише позаду предмета, як і у випадку з використанням гвинтових рушіїв. За законом Бернуллі, тиск у завихреннях падає, що створює гальмівний ефект. Постає проблема значного зниження опору води. Також водорості, сітки та інші предмети намотуються на гвинтовий рушій,

гальмуючи рух апарата та призводячи до його несправності. Постає питання заміни гвинтових рушіїв на рушії біонічного типу (розглядаємо спосіб руху ската з великими грудними плавниками та тонким і слабким хвостом) для забезпечення більшої плавності рухів, швидкості руху апарата, його маневреності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Протягом останніх двох десятиліть з'являється все більше статей, присвячених моделюванню підводних життєздатних систем, зокрема завдяки появі нових технічних засобів моделювання та доступності апаратно-обчислювальної платформи Arduino і подібних до неї платформ. Проте підходи до реалізації підводних автономних апаратів ще не достатньо вивчені.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Дана стаття присвячена вивченню та аналізу запропонованої підводної моделі життєздатної системи, зокрема принципу руху, що може бути застосований для даної моделі. Дослідження зосереджене на вивченні способу руху підводних мешканців (скат) та можливості реалізації даного способу при моделюванні системи, а також на створенні відповідного програмного забезпечення (функція «автопілот»).

Метою даної роботи є дослідження способу руху підводного об'єкта (ската) і відтворення даного способу за рахунок створення моделі життєздатної системи на основі мікроконтролера ATmega328 платформи Arduino UNO (малогабаритний неприв'язний АПА).

Постановка завдання. Завданням є створити модель автономного підводного апарата як життєздатну систему, принцип руху якої базується на складних коливаннях, а також забезпечити адаптивність такої системи та врахувати фактори впливу водного середовища.

Викладення основного матеріалу. Спосіб руху ската за рахунок складних коливань. Скати – це пластиножаберні хрящові риби, які вважаються найближчими родичами акул. Зазвичай вони мають форму плоского диска[5]. Коли скат переміщується у воді, його грудні плавники здійснюють складні коливання[6], подібні до змахів крил пташок, а хвіст виконує функцію руля, дякуючи чому скат може виконувати плавні рухи, ковзаючи в товщі води, та розвивати дуже високу швидкість, яка на сьогоднішній день лише частково доступна сучасним підводним апаратам. Скати «літають» у воді, середовищі, густина якого приблизно у 800 разів більша густини повітря. Тому техніка «польоту» цих риб, хоч і нагадує політ пташок, все ж є менш складною. Скатам необхідно не лише «парити» у воді (рис. 1), але й іноді плисти проти водного потоку чи течії, а наявність відразу двох сил: виштовхувальної сили Архімеда та сили тяжіння, що повністю (або частково) компенсують одна одну, - змушує ската вивертати грудні плавники так, щоб кожен елемент плавника здійснював рухи, які схожі на рухи дельфіна. У дельфінів підйомна сила, за допомогою якої вони рухаються, залежить від форми тіла, випуклої зверху та згладженої знизу, що перетворює тіло дельфіна в аналог крила літака.

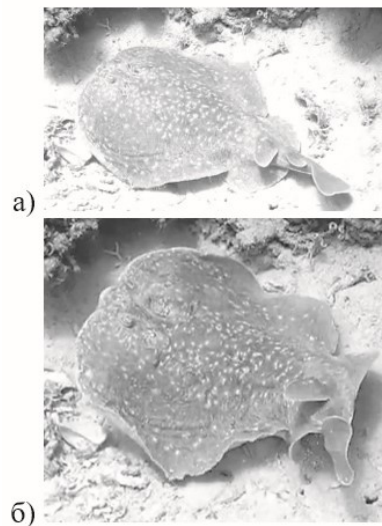


Рис. 1. Вид збоку на ската, що піднімає плавники (а),
і на ската, що опускає плавники (б)

Розглянемо траєкторію руху плавника ската (кореневої та кінцевої частини), з урахуванням викиду кінця плавника вперед. Траєкторія руху плавника ската збігається з траєкторією руху крила чайки (рис. 2).

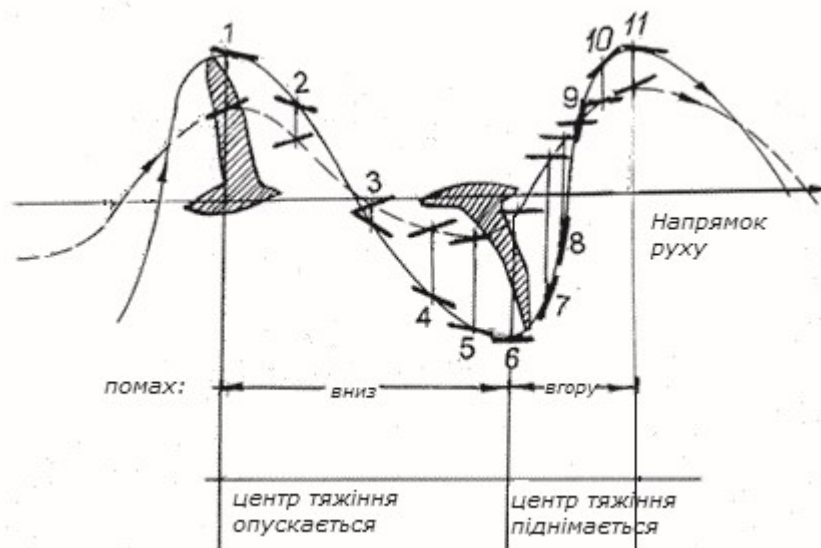


Рис. 2. Траєкторія руху крила чайки під час спостереження збоку

Аналізуючи динаміку підйомних сил, що виникають при переміщенні, за увесь цикл, коли скат рухає плавниками та змінює форму від варіанту 1 (рис.3, зверху) до варіанту 6 (рис.3, знизу), бачимо, що сили плавно змінюються як у напрямку, так і за модулем, але напрямок результуючої сили буде приблизно спрямований туди, куди буде рухатись скат. При поворотах ската даний механізм дає збій, тому скат регулює рух на поворотах за допомогою хвоста. Таким чином, це не скат пливе, відштовхуючи воду назад, а вода за рахунок перепадів тиску з протилежних боків плавників ската (вертикальна площина) переміщує його практично без затрат енергії з боку ската. Ковзання у воді

досягається через той же ефект: вода за рахунок перепадів тиску з протилежних боків тіла ската (горизонтальна площа) плавно штовхає його вперед.

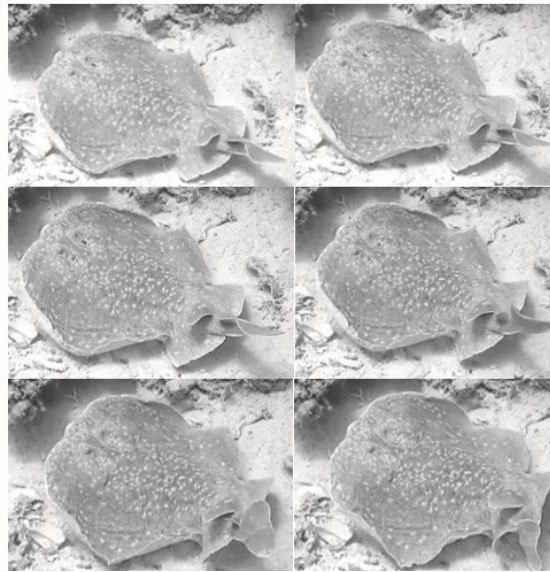


Рис. 3. Рухи ската, розбиті на фази при плаванні

Відомо, що в основі підйомної сили закладений ефект Магнуса від взаємодії приєднаного до тіла вихра з набігаючим водним потоком [7]. Саме ефект Магнуса є тим механізмом, що дозволяє скатам переміщуватися з високою швидкістю і малими затратами енергії.

При застосуванні даного механізму переміщення [8, 9] для малогабаритного АПА потрібно динамічно змінити «геометрію» апарату. Щоб це зробити, необхідно, щоб апарат був обладнаний механічними «плавниками» та «хвостом», за допомогою яких з'явиться можливість протистояти опору води і за рахунок цього розвинути значну швидкість.

Для створення «плавників» і «хвоста» можна використати властивість ската відтворювати складні коливання [8,10, 11] з більшою чи меншою амплітудою, однаково вигинаючи грудні плавники, але з різною силою.

Існують точні двигуни для управління параметрами руху – сервоприводи. Саме їх можна використати в якості з'єднувальних поворотальних механізмів для частин механічного «хвоста» та «плавників». До того ж вони легко програмуються у середовищі Arduino IDE (середовище має спеціально створені бібліотеки під різні типи сервоприводів).

Переваги використання двигунно-рушійного комплексу, побудованого на складних коливаннях:

- а) збільшення швидкості плавання АПА;
- б) більша маневреність моделі;
- в) «хвостовий» та «плавникові» рушії безпечні для людини та навколишнього середовища (водорослі не заплутуються навколо «хвоста» та «плавників»);
- г) ККД становить 0,6-0,85.

Платформа Arduino як засіб реалізації автономного апарату. Автономний апарат досить легко реалізувати за допомогою платформи Arduino. Arduino – це апаратна обчислювальна платформа, яка легко програмується, заснована на простому

Open Hardware проєкти, що базуються на вмонтованих мікроконтролерах в єдину друковану плату із вбудованою підтримкою вводу/виводу та стандартизованою мовою програмування. Мова програмування Arduino ґрунтується на середовищі підключення та в основному на мові C / C++. Arduino є хорошою альтернативою у випадку недоступності більш «просунутих» мікроконтролерів, завдяки її загальнодоступності, відносно низькій ціні, гнучкості та крос-платформеності. Типова плата Arduino містить мікроконтролер (МК), цифрові та аналогові лінії вводу/виводу та інтерфейс UART або USB для підключення до комп'ютера.

Однією з модифікацій плати Arduino є клон Arduino Uno Rev-3. За допомогою цієї платформи можна змодельовати автономний апарат, запрограмувати та протестувати його.

Arduino Uno Rev-3 – це пристрій на основі МК ATmega328. До його складу входять усі необхідні для зручної роботи з МК компоненти: 14 цифрових входів/виходів (з них 6 можуть використовуватися в якості ШІМ-виходів), 6 аналогових входів, кварцевий резонатор на 16 МГц, роз'єм USB, роз'єм живлення, роз'єм для внутрішньосхемного програмування (ICSP) і кнопка Reset.

Плата має flash-пам'ять 32 КБ (ATmega328), з яких 0.5 КБ використовуються завантажувачем.

Параметри плати Arduino Uno Rev-3 зовсім не відрізняються від параметрів оригінальної плати Arduino Uno, проте ціна в кілька разів нижча.

Використання сучасної елементної бази дозволяє не лише вдосконалити старі методи проектування та конструювання, а й створити нові. Також застосовуючи елементну базу з покращеними технічними та експлуатаційними характеристиками, зокрема платформу Arduino Uno, міні-сервоприводи SG90, інфрачервоні датчики руху HC-SR501 тощо, можна суттєво скоротити витрати на створення продукту.

Варто зазначити, що використання такої елементної бази призводить до значного зменшення розмірів та зниження маси продукту, що при його розробці відіграє значну роль.

Використання даної елементної бази забезпечує автоматичну обробку інформації.

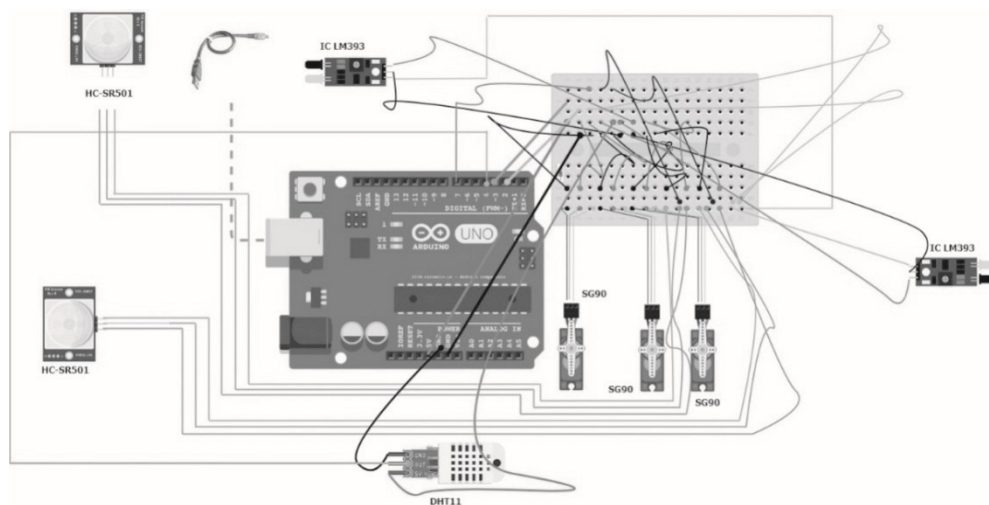


Рис. 4. Схема поєднання елементів (плата ArduinoUno, безпашна макетна плата, сервоприводи SG-90, датчики приближення ICLM393, датчик температури DHT11, датчики руху HC-SR501)

При моделюванні продукту добре використовувати принцип подвоєння[12] таких елементів, як інфрачервоні датчики приближення і руху, що дозволяє підвищити надійність роботи моделі. Використання ретельно підібраної елементної бази дає можливість значно зменшити масу і габарити готового продукту, що забезпечує надійність системи.

На рис. 4 наведено схему з'єднання елементів моделі. Для з'єднання було використано перемички типу мама-мама, папа-мама, безпашну макетну плату.

Аналіз програмної реалізації системи. Життєздатна система – це автономна система, що може сама адаптуватись до змін навколишнього середовища, автоматично змінюючи свою структуру або алгоритм функціонування з метою досягнення оптимального стану. Задля створення такої системи необхідно повністю продумати логіку її автономного функціонування, передбачаючи наперед виняткові ситуації, та створити функцію «автопілот».

Для програмування мікроконтролера ATmega328 ArduinoUno можна використовувати ArduinoIDE, Programino, B4R, CodeBlocksforArduino та інші середовища.

Середовище ArduinoIDE містить увесь необхідний мінімум для розробки програм: написання коду, перевірка коду, компіляція, завантаження скетча в Arduino, монітор послідовного порту тощо.

Programino – безкоштовне середовище розробки. Однією з головних вимов цього середовища є встановлення ArduinoIDE. Дане середовище має дуже корисний інструмент AnalogPlotter, він дозволяє візуалізувати те, що відбувається в COM-порт від Arduino. AnalogPlotter найчастіше використовують для відображення показників аналогових датчиків: температури, вологості, освітленості тощо.

Середовище розробки B4R унікальне тим, що використовує мову Basic, а не C.

Існують і інші середовища розробки для Arduino, наприклад Codeblocks for Arduino. Але простота і легкість у використанні середовища ArduinoIDE заслуговує на особливу увагу. Середовище постійно оновлює бібліотеки, за потреби завантажує приклади використання тієї чи іншої бібліотеки, а також дає можливість створювати бібліотеки, драйвери для своїх пристроїв, аматорських плат тощо.

Програма для даної моделі була написана в ArduinoIDE.

Щоб відтворити рухи плавників та хвоста справжнього ската, необхідно забезпечити постійний рух механічних плавників та хвоста [13]. Щоб досягнути такого ефекту, модель повинна складатися з 4-х частин: тулуб, два «плавники» і «хвостова» частина (рис. 5), що поєднані між собою сервоприводами. Дана система оснащена датчиками приближення та руху, що дає роботизованому «скату» змогу обпливати перешкоди та фіксувати рух підводних об'єктів, що випромінюють тепло. Також модель містить датчик температури та вологості і визначає температуру води, а також рівень вологості всередині пристрою[14].

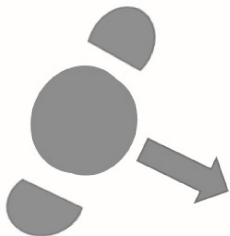


Рис. 5. Спрощений вигляд системи «скат»

Таким чином на програмному рівні потрібно забезпечити безперервну роботу трьох сервоприводів. Для цього можна використати бібліотеку Servo.h, яка вбудована в ArduinoIDE. Для кожного з трьох сервоприводів обов'язково

необхідно виділити окремий ШІМ-вихід на платі ArduinoUnoRev-3. У програмі слід зазначити, до якого порту «прив'язаний» сервопривід. Це можна зробити за допомогою функції `Servo.attach(number_of_pin)`.

Інфрачервоні датчики приближення та руху (в даному випадку ІС LM393 та HC-SR501) потрібно налаштувати апаратно та програмно.

Датчик руху HC-SR501 може працювати у двох режимах: Н (сигнал на виході зникне лише після закінчення терміну затримки з моменту останньої фіксації руху в зоні пошуку) та L (датчик, зафіксувавши рух, подає на вихід сигнал високого рівня). Крім того на даній платі встановлено два змінних опори, що регулюють зону спрацювання (Sensitivity Adjust) та затримку вимкнення (Time Delay Adjust). Програмно датчик легко налаштовується, не вимагає жодних додаткових бібліотек. У середовищі ArduinoIDE потрібно вказати цифровий (не ШІМ) вхід та для коректної роботи датчика визначити час калібрування.

Датчик приближення ІС LM393 теж налаштовується програмно і апаратно. На апаратному рівні можна відрегулювати відстань приближення від 2 до 30 см. Програмуючи датчик, можна визначити ефективну відстань спрацьовування. Для цього за допомогою функції `Serial.begin()` налагоджують сеанс зв'язку з комп'ютером.

Датчик температури DHT11 вимагає підключення додаткової бібліотеки DHT.h. Даний датчик працює лише при підключенні до цифрового (не ШІМ) виходу. Після ініціалізації датчика можна використати дві функції для зчитування температури та вологості: `dht.readHumidity()`, `dht.readTemperature()`.

Результати тестування. Під час тестування системи було отримано задовільний результат. «Скат-робот» з успіхом відтворював рухи справжнього ската, обпливав перешкоди, реагував на об'єкти, що випромінюють тепло, відповідно до алгоритму заданого в програмі.

Висновки. Було проведено дослідження способу руху підводного об'єкта (ската), а також відтворено даний спосіб за рахунок створення моделі життєздатної системи – автономного підводного апарату – на основі мікроконтролера ATmega328 платформи ArduinoUno. Даний спосіб руху підводних об'єктів можна використувати для відтворення «ковзаючого» руху або «польоту» підводних апаратів, а також для забезпечення повної чи часткової автономності підводних апаратів. Створення таких апаратів на основі платформи Arduino досить просте, як показує спроба реалізації. Це значною мірою розширює діапазон їх використання.

Список літератури

1. Модель жизнеспособной системы [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://ru.wikipedia.org/wiki/Модель_жизнеспособной_системы. (Дата звернення 18.04.2018)
2. Агеев М. Д., Киселев Л. В., Матвиенко Ю. В. Автономные подводные роботы: системы и технологии / отв. ред. Киселев Л. В. — М.: Наука, 2005. — 398 с. — ISBN 5-02-033526-6.
3. Движители кораблей и судов [Електронний ресурс]. – 2010. – Режим доступу до ресурсу: http://korabley.net/news/dvizhiteli_korablej_i_sudov/2010-04-06-527. (Дата звернення 26.04.2018)
4. Steven W. Underwater robotics: science, design & fabrication / W. Steven, B. Harry, J. Vickie. – Hong Kong: MATE Center, 2010. – 758 с.
5. Скаты [Електронний ресурс] // Энциклопедия животных – Режим доступу до ресурсу: <http://www.animalsglobe.ru/skati/>. (Дата звернення 17.04.2018)

6. Симаков Ю. Г. Живые приборы / Ю. Г. Симаков. – Москва: Знание, 1986. – 176 с.
7. Движения и перемещения у рыб [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.zoofirma.ru/knigi/zoologija-pozvonochnyh/3403-dvizhenija-i-peremeschenija-u-ryb.html>. (Дата звернення 18.04.2018)
8. Приспособление рыб к абиотическим факторам среды [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://portaleco.ru/ekologija-ryb/sposoby-peredvizhenija-ryb.html>. (Дата звернення 18.04.2018)
9. Петров А. В. Энергетические методы увеличения подъемной силы крыла / Альберт Васильевич Петров. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2011. – 404 с.
10. Understanding Helicopter Automatic Flight Control Systems (AFCS) [Электронный ресурс] // Helicopter Maintenance. – 2014. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.helicoptermaintenancemagazine.com/article/understanding-helicopter-automatic-flight-control-systems-afcs>. (Дата звернення 19.04.2018)
11. Подводные аппараты с двигателем колебательного типа [Электронный ресурс] // Vortex Oscillation Technology Ltd. – 2018. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.vortexosc.com/modules.php?name=Content&pa=showpage&pid=74>. (Дата звернення 19.04.2018)
12. Власов В.Н. Механизм плавания рыб и дельфинов, а также полета птиц как вариант движения с отталкиванием от среды. [Электронный ресурс] / Власов В.Н.. – 2012. – Режим доступа до ресурсу: <http://vitamar.narod.ru/Delphin/Delphin.htm>. (Дата звернення 22.04.2018)
13. Мазейкин Е.М. Конструирование и моделирование технических устройств [Электронный ресурс] / Мазейкин Е.М., Шмелёв В.Е. – Режим доступа до ресурсу: www.tula.net/tgpu/resources/construct/index.html. (Дата звернення 18.04.2018)
14. Сахновский Б.М. Модели судов новых типов [Электронный ресурс] / Сахновский Б.М. // Судостроение. – 1987. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.shipmodeling.ru/books/NewTypeShips/newtypeships.pdf>. (Дата звернення 24.04.2018)

ДОВІДКА ПРО АВТОРІВ

Даніленко Наталія Олегівна – студентка, 4 курс, факультет інформатики та обчислювальної техніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Danilenko Nataliia - student of the 4th year Faculty of Informatics and Computer Technology of the National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”.

E-mail: n.danilenko@hotmail.com

Сімоненко Андрій Валерійович - старший викладач факультету інформатики та обчислювальної техніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Simonenko Andrii - senior lecturer Faculty of Informatics and Computer Technology of the National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”.

E-mail: svp@comsys.ntu-kpi.kiev.ua

**Danilenko Nataliia,
SimonenkoAndrii**

MODEL OF UNDERWATER VIABLE SYSTEM BASED ON ATMEGA328 MICROCONTROLLER ARDUINO UNO PLATFORM

Relevance of research topic. Creating a viable system model such as a small, non-intrusive, autonomous submarine (AUV) is a complex and time-consuming process since it is necessary to ensure the adaptability of such a system and take into account the many factors affecting the water environment. To accelerate the design and implementation of ideas, especially for the design of mechanical models with the use of appropriate software, Arduino hardware computing platform is increasingly being used. Its low cost and cross-platformism attract developers. So, with Arduino, you can create standalone devices.

Formulation of the problem. Ensure greater smoothness of movements, speed, and maneuverability of a small-size underwater vehicle. Autopilot development. Ensuring system adaptability.

Analysis of recent research and publications. Over the past two decades, there are more articles devoted to the modeling of underwater viable systems, in particular, due to the emergence of new technical tools for modeling and accessibility of the Arduino hardware platform and similar platforms. However, approaches to the implementation of submarine autonomous devices have not yet been sufficiently studied.

Uninvestigated parts of general matters defining. This article is devoted to the study and analysis of the proposed underwater model of a viable system, in particular, the principle of motion, which can be applied to this model. The research focuses on the study of the mode of movement of underwater inhabitants (skate) and the feasibility of implementing this method in modeling the system, as well as on the creation of appropriate software (in particular, 'autopilot' function).

Target setting. The task is to create an small, unattached autonomous underwater vehicle model as a viable system, the principle of which is based on complex fluctuations, and to ensure the adaptability of such a system and to take into account the factors of the influence of the water environment.

The statement of basic materials. The study of the principle of movement of underwater inhabitants (skates) was carried out. Approaches are described for using this method of motion when creating an autonomous underwater vehicle model. The scheme of the combination of electric elements for the creation of a model of "skate" type is proposed. The principle of programming the Arduino platform for this model in various software environments is described. The test results of the model were satisfactory and foreseeable.

Conclusions. As the implementation attempt showed, the creation of a submarine model as a viable system based on the Arduino platform is relatively simple. The results of hardware and software testing of the developed model are presented and their analysis is made. The article presents a method of motion for small, unattached autonomous underwater device, which is realized due to the implementation of complex oscillations. Deals method for combining electrical elements to create a moving device based on the Arduino Uno platform. The analysis of program implementation of the system is made, results of testing are given.

Keywords: underwater viable system, fluctuations, Arduino Uno, Magnus effect, AUV.