



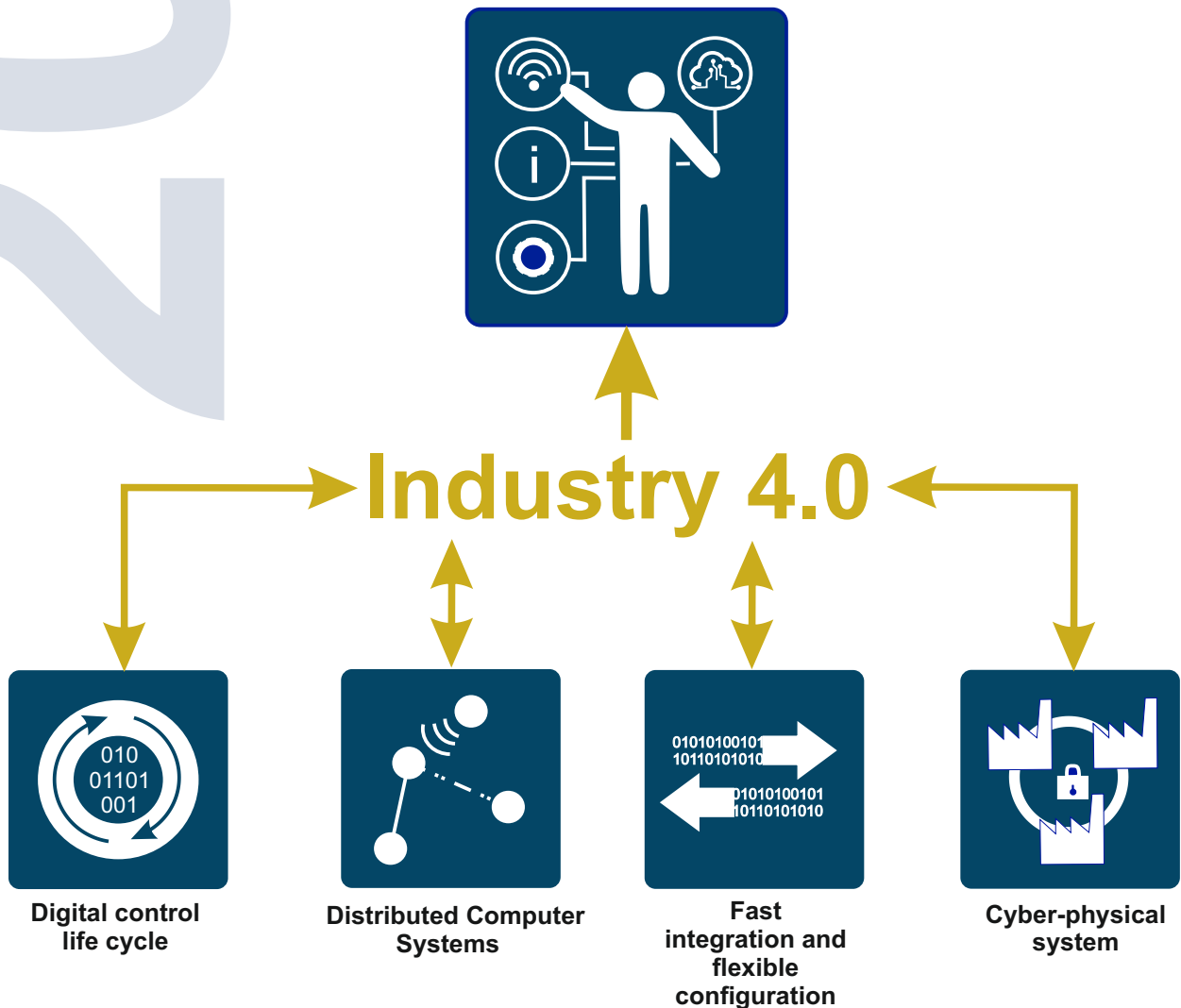
The Ministry of  
Education and Science  
of Ukraine

<https://nure.ua/>

Kharkiv National  
University of  
Radio Electronics

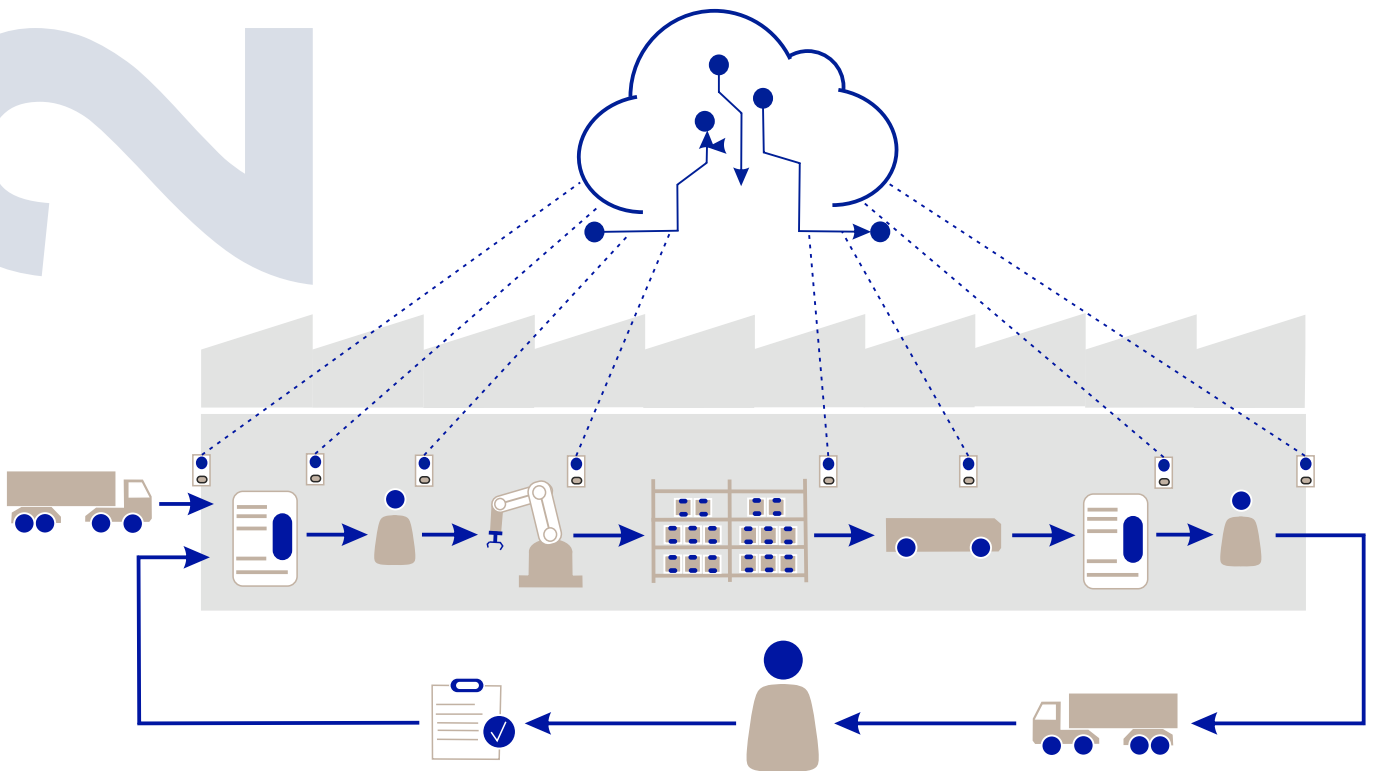
**KITAM**

**COLLECTION**  
OF STUDENTS' SCIENTIFIC PAPER  
«Automation and Development of Electronic Devices»  
ADED-2022  
(Part 2)



# ЗБІРНИК

студентських наукових статей  
«Автоматизація та приладобудування»  
ADED-2022  
(Випуск 2)  
[електронне видання]



→ Industry 4.0

- Головий редактор** **Невлюдов Ігор Шакирович**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.
- Редакційна колегія:** **Филипенко Олександр Іванович**, доктор технічних наук, професор, декан факультету Автоматики та комп'ютеризованих технологій, Харківського національного університету радіоелектроніки.  
**Цимбал Олександр Михайлович**, доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.  
**Андрусевич Анатолій Олександрович**, доктор технічних наук, професор, начальник Криворізького коледжу національного авіаційного університету  
**Косенко Віктор Васильович**, доктор технічних наук, професор, зам. директора Державного підприємство «Південний державний проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут авіаційної промисловості».  
**Замірець Микола Васильович**, доктор технічних наук, професор, директор Державного підприємства Науково-дослідного технологічного інституту приладобудування.  
**Свищ Володимир Митрофанович**, доктор технічних наук, професор, радник директора Державне науково-виробниче підприємство «Об'єднання Комунар».  
**Фомовська Олена Владиславівна**, кандидат технічних наук, доцент завідувач кафедри «Електронних апаратів» Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського.  
**Кухаренко Дмитро Володимирович**, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Електронних апаратів» Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського  
**Демська Наталія Павлівна**, кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.  
**Фурманова Наталія Іванівна**, кандидат технічних наук, доцент, в.о. декана факультета Радіоелектроніки і телекомунікацій, Національного університету «Запорізька політехніка».
- Відповідальний редактор:** **Євсєєв Владислав В'ячеславович**, доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.

## АНАЛІЗ БУДОВИ РОБОТИЗОВАНИХ РИБ ТА ЇХ ПЕРЕМІЩЕННЯ У ВОДІ

**В.О. Руденко**

Харківський національний університет радіоелектроніки

Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14

Email: veronika.rudenko@nure.ua

**Анотація:** У статті було розглянуто різноманітні роботизовані системи, створені на основі шаблонів риб, які можуть змінюватись від простих гнучких пластикових панелей до складніших моделей всього тіла та плавників. Проаналізовано будову даних роботів-риб, принцип руху та роботи, механіку та динаміку роботи.

**Ключові слова:** робот-риба, пересування у воді, м'яка роботизована система, пересування риб, модель робота-риби.

## ANALYSIS OF THE STRUCTURE OF ROBOTIC FISH AND THEIR MOVEMENT IN WATER

**V. Rudenko**

Kharkiv National University of Radio Electronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky av., 14

Email: veronika.rudenko@nure.ua

**Annotations:** The article looked at a variety of robotic systems based on fish templates, which can vary from simple flexible plastic panels to more complex models of the entire body and fins. The data structure of fish robots, the principle of movement and work, mechanics and dynamics of work are analyzed.

**Key words:** robot fish, movement in water, soft robotic system, movement of fish, model of robot fish.

Велика увага приділена біонічним роботам за їх переваги міцності, гнучкості та різноманітності рухів, подібно тваринам. Не дивлячись на розповсюдження розрахунків, датчиків та спрацьовування в невеликих масштабах, роботи й надалі відстають від своїх природніх товаришів. Більша частина спостережимої нестачі продуктивності пов'язана з відрізненням в конструкції з використанням піддатливих структур з визначенням деформації та механічним зворотнім зв'язком. Дана поступливість та гнучкість у тварин часто використовується для адаптації до непередбачених змін та підвищення стабільності за рахунок інтелекту, тим самим, підвищуючи стійкість. У природі необхідність зберігання енергії є одним з найсильніших еволюційних факторів, а як слідство, більшість природніх структур добре адаптовані для ефективного переміщення та здатні підтримувати дану ефективність в різноманітних ситуаціях [1].

Риби досягають своєї значної енергетичної ефективності за рахунок використання жорсткості тіла, перетворення енергії з рідини в тіло, в результаті чого їх рух генерується пасивно. Вивчення основних механізмів, які присутні в м'яких структурах, що коливаються в рідинах, що рухаються, підвищить мобільність роботів, які можуть функціонувати як модельні тварини для досліджень в області біо-механіки. М'які метаматеріали можуть інтегрувати функції збору енергії та здобути широкого потенціалу застосування технології м'яких роботів. Ярким прикладом дуже гнучких структур для пересування в природі можна знайти у воді. Плавання за рахунок коливань хвостового плавника забезпечує одну з найефективніших форм пересування в тваринному світі з точки зору транспортних розходів.

М'які системи мають великі простори станів, а також матеріальну нелінійність, що робить моделювання та управління м'якими роботами серйозною і постійною проблемою. Як правило, моделювання м'яких роботів включає моделювання методом кінцевих елементів

або методи чорної скриньки, засновані на даних, з використанням інструментів машинного навчання. Однак таке моделювання вимагає великих обчислювальних ресурсів та її важко узагальнити на інші системи. Так само пряме прототипування та експериментальне тестування алгоритму управління з апаратним забезпеченням у контурі без моделювання було б трудомістким і, ймовірно, дало б неоптимальні результати. Там, де інтерес представляє коливальна динаміка, а не точне позиціонування, інерційні сили відіграють велику роль, а вплив локальних гіперпружних деформацій та нелінійностей матеріалу менше впливає на загальну вихідну поведінку. За допомогою генетичного алгоритму було знайдено оптимальні параметри моделі, які можуть якнайкраще наблизити модель до реальної поведінки риби. Той самий алгоритм використовувався для визначення максимальної швидкості руху риби-робота. [2]

У роботі Yu-Hsiang Lin, Robert Siddall та інших представлено управління механікою хвилястості повністю м'якої роботизованої риби з використанням антагоністичних приводів та гіпереластичної евтектики галію-індію, вбудованої у силіконові канали для вимірювання деформації. Для розробки контролера розроблено простий підхід із зосередженими параметрами на основі даних, що дозволяє проводити точне, але легке моделювання, налаштоване з використанням експериментальних даних та генетичного алгоритму. Модель точно передбачає поведінку робота в діапазоні керуючих частот і діапазоні амплітуд тиску, включаючи ефект спільного антагоністичного скорочення м'яких приводів. Хвильова локомоція робота-риби зображена на рисунку 1.

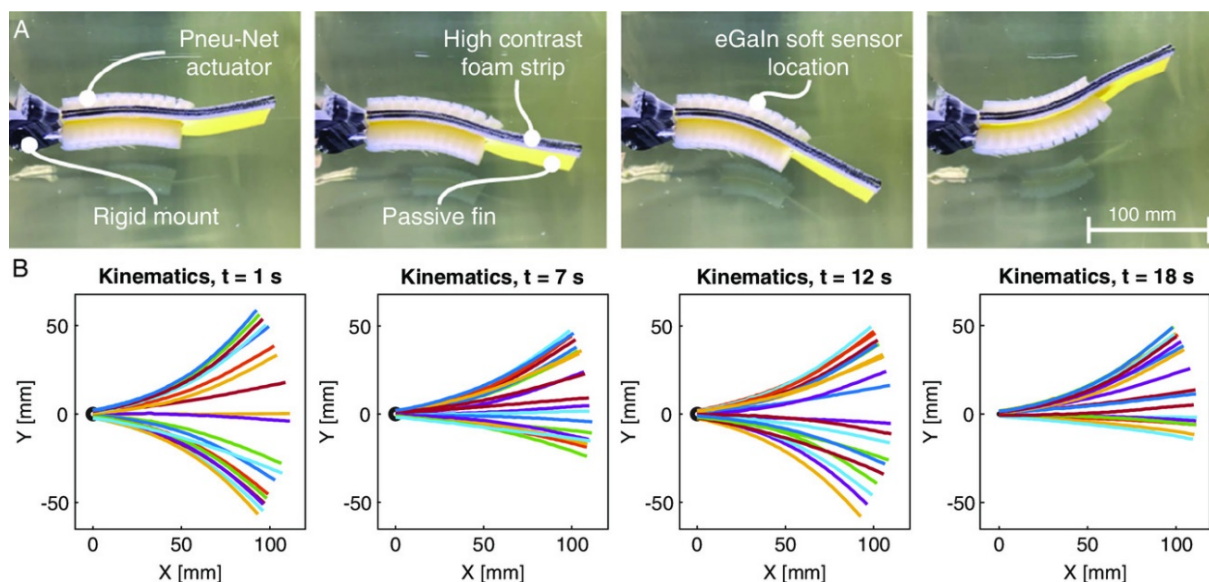


Рисунок 1 – Зображення хвильової локомоції робота-риби [2]

Автори Fengran Xie, Qiyang Zuo та інші порівняли різноманітні конструкції біометричних роботів-риб, виконуючих плаваючі рухи тіла та/або хвостового плавника та підкреслили розвиток конструкцій. Автори вивели, що загальна тенденція полягає у використанні більш простого та надійного механізму, що дозволяє біоміметичним роботам-рибам краще імітувати своїх побратимів у природі, водночас демонструючи кращі плавальні характеристики. Автори навели та обговорили репрезентативні дослідження, узагальнили проблеми поточних досліджень та представили напрями майбутніх досліджень [3].

У роботі Fengran Xie, Zheng Li та інших, автори представили експериментальне дослідження, як моделі змахів тіла впливають на плавання риби. Розробники спроектували та побудували біометричного робота-рибу в якості експериментальної платформи, яка імітує структуру скелету та положення м'язів справжньої риби. Автори удосконалили центральний генератор патернів для генерації різноманітних патернів, які характеризуються чотирма

параметрами управління: амплітудою, частотою, співвідношенням часу між фазою биття і напівперіодом та параметром форми.

Наступним етапом було проведення ряду експериментів по дослідженню тяги, віддачі, крейсерної швидкості та ефективності плавання. Основуючись на експериментальних результатах, автори зробили наступні висновки:

- рух риби слідує моделі хвилі, що біжить;
- тимчасова асиметрія патернів помахів тіла знижує тягу;
- трикутна форма забезпечує найменшу віддачу, а вигнута синусоїдальна форма забезпечує найбільшу тягу.

Дані результати надали авторам більшого розуміння схеми плавання риби для використання у якості керівництва для розробки моделей змаху тіла для роботів-риб [4].

Натхненні караноподібними плавцями автори дослідження Wei Wang; Xia Dai та інші, розробили роботизовану рибу. Розробка являє собою нову систему передачі, в якій використовується взаємодія магнітного поля постійних магнітів для забезпечення водонепроникності та запобігання будь-яким перевантаженням конструкції та приводного двигуна. Даний механізм перетворює обертальний рух двигуна на коливальний. Така коливальна система разом з тросовим механізмом хвоста створює в роботі-рибі необхідну хвилю, що біжить. Авторами було проведено кілька експериментів для перевірки продуктивності роботизованої риби. Вона могла плавати з максимальною швидкістю 0,73 довжини тіла в секунду (0,13 м/с) при частоті хвостового биття 3,25 Гц і споживання електроенергії 0,67 Вт. Дослідники вважають, що майбутні роботи будуть зосереджені на наданні роботі автономністю енергії та навігації, а також на перевірці його потенціалу для реальних задач, таких як моніторинг навколишнього середовища та взаємодія тварин та роботів [5].

На рисунку 2 представлено вид збоку та спереду зібраного авторами прототипу робота-риби. На рисунку можна чітко побачити такі деталі, як гідродинамічна водонепроникна головка, три звена, останнє з яких зі вбудованим хвостовим плавником та дроти живлення.

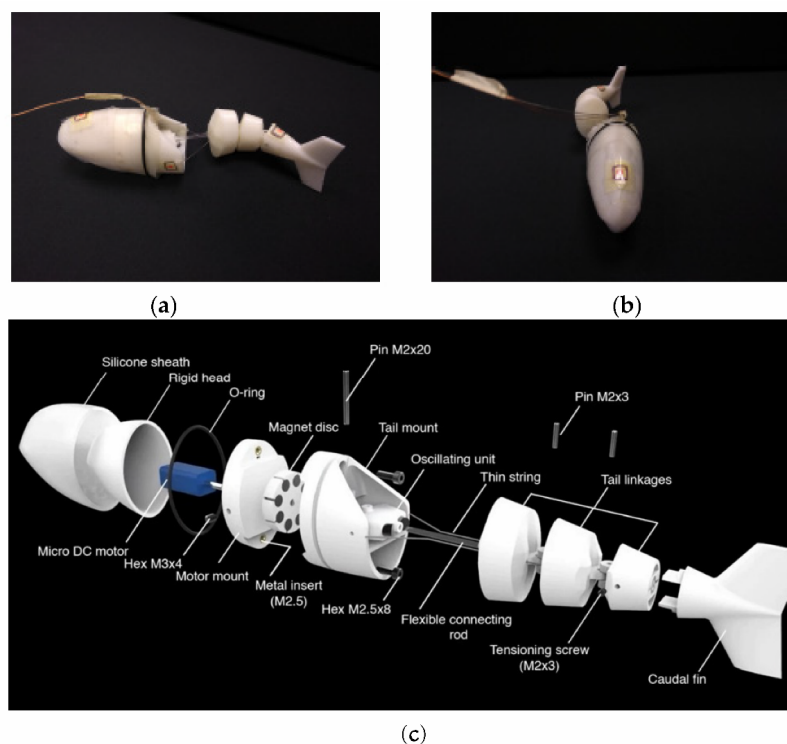


Рисунок 2 – Зображення повного прототипу робота-риби [5]

В даній роботі для кількісної оцінки продуктивності спроектованої роботизованої риби було проведено різноманітні експерименти. Було збудовано три різні установки для розрахунку наступних параметрів:

- зіставлення напруги двигуна з частотою биття хвоста;
- споживання електроенергії різних частотах хвостових биття;
- середня швидкість плавання за різних частотах биття хвоста;
- середня тяга, що генерується за різних частот хвостового биття;
- вартість транспорту за різних частот биття хвоста;
- число Струхала, що означає ефективність плавання, за різних частотах биття хвоста.

У даному дослідженні була розроблена біоінспірована риба-робот, взявши як біологічний зразок види риб з карангіформним режимом плавання. Авторами запропоновано нову систему магнітної передачі, що складається з незвичного розташування постійних магнітів, які перетворювали обертальний рух двигуна на коливальний рух хвоста. Цей механізм запобігає будь-якому перевантаженню як конструкції, так і двигуна у разі застрягання хвоста, і він був об'єднаний з рішенням з тросовим приводом для створення рушійної хвилі, що біжить, уздовж тіла риби.

Запропонована конструкція є модульною, що сприяє швидкому складанню та дозволяє легко розширювати та/або змінювати морфологію для адаптації до різних потреб, які можуть виникнути у майбутніх дослідницьких розробках та додатках. Жорстка головка містить електроніку і може бути ізольована незалежно, не торкаючись механізму биття хвоста.

Основними перевагами запропонованої конструкції є: модульна конструкція, просте керування, легка вага та невеликий розмір з нейтральною плавучістю та простота виготовлення. До недоліків можна віднести: шум через замикання магнітів, відсутність активного контролю плавучості, високі частоти обмежуються вибором мотор-редуктора та зовнішнє живлення по дротах [5].

У роботі Wei Wang; Xia Dai та інших, авторами була сформульована повна динамічна 3D-модель робота риби, яка приводиться в дію завдяки грудними та хвостовими плавниками, в якій гідродинамічні сили в основному складаються з квазістаціонарної підйомної сили та опору, гравітації та плавучості, а також ударної сили водомета. Критична підйомна сила і лобовий опір плавців, що махають, автори визначають за допомогою явного тривимірного кута атаки. Приймаючи біоінспірований генератор центрального патерну як привод системи, розроблена модель може виробляти мультимодальні маневри, включаючи плавання вперед/назад, повороти та підйом/спуск, а також складні рухи, такі як перекочування та спіральний рух. Експериментальним методом, розробники підтвердили змодельовані рухи у тривимірному просторі за допомогою роботизованої риби, що вільно плаває. Загальні результати продемонстрували ефективність та універсальність розробленої тривимірної динамічної моделі при прогнозуванні траєкторії, швидкості та положення робота [6].

Отже, можна зробити висновки, що вивчення пересування риб дає багате джерело натхнення розробки роботизованих пристроїв. Риби демонструють безліч складних локомоторних конструкцій, які включають різноманітність структур, що використовуються для створення локомоторних сил, так і універсальна поведінка для взаємодії з водним середовищем. Функціональна конструкція риби включає як гнучке тіло, що демонструє хвилеподібні рухи, так і численні керуючі поверхні, які дозволяють рибі спрямовувати сили і виконувати швидкі маневри в напрямках крену, тангажу і нишпорення [7].

Роботизовані системи, створені на основі шаблонів риб, можуть змінюватись від простих гнучких пластикових панелей до складніших моделей всього тіла та плавників. Експериментальні випробувальні платформи, які є окремими плавцями або певними компонентами локомоторної конструкції риб, дозволяють проводити докладні випробування гідродинамічних і механічних функцій. Приведення в дію та керування складними роботизованими системами риб, що включають як тіло, так і кілька окремих плавців, є серйозним завданням на майбутнє.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Quanliang Zhaoa, Shiqi Liua, Jinghao Chen, Guangping HeaJiejia, Dia Lei Zhao, Tingting Su, Mengying Zhang, Zhiling Hou. (2021). Fast-moving piezoelectric micro-robotic fish with double caudal fins. *Robotics and Autonomous Systems*, Volume 140, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.robot.2021.103733>
2. Shuyu Wang, Zhaojia Sun, Shuaiyang Duan, Yuliang Zhao, Xiaopeng Sha, Shifeng Yu, Lei Zuo, A Hydrogel-Based Self-Sensing Underwater Actuator, *Micromachines*, 10.3390/mi13101779, 13, 10, (1779), (2022).
3. Xie, F., Zuo, Q., Chen, Q. et al. Designs of the Biomimetic Robotic Fishes Performing Body and/or Caudal Fin (BCF) Swimming Locomotion: A Review. *J Intell Robot Syst* 102, 13 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10846-021-01379-1>
4. Fengran Xie; Zheng Li; Yang Ding; Yong Zhong; Ruxu Du. (2020). An Experimental Study on the Fish Body Flapping Patterns by Using a Biomimetic Robot Fish. *IEEE Robotics and Automation Letters*, Volume: 5, Issue: 1, Page(s): 64 – 71. DOI: 10.1109/LRA.2019.2941827
5. Romano D, Wahi A, Miraglia M, Stefanini C. Development of a Novel Underactuated Robotic Fish with Magnetic Transmission System. *Machines*. 2022; 10(9):755. <https://doi.org/10.3390/machines10090755>
6. Wei Wang; Xia Dai; Liang Li; Banti H. Gheneti; Yang Ding; Junzhi Yu; Guangming Xie.(2018). Three-Dimensional Modeling of a Fin-Actuated Robotic Fish With Multimodal Swimming. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*. Volume: 23, Issue: 4, Page(s): 1641 – 1652. DOI: 10.1109/TMECH.2018.2848220
7. Lauder, G.V., Tangorra, J.L. (2015). Fish Locomotion: Biology and Robotics of Body and Fin-Based Movements. In: Du, R., Li, Z., Youcef-Toumi, K., Valdivia y Alvarado, P. (eds) *Robot Fish*. Springer Tracts in Mechanical Engineering. Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-46870-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-662-46870-8_2)
8. Розробка 3D-моделі зооморфного мобільного робота для вертикальних переміщень по металевим поверхням / І. Ш. Невлюдов, В. В. Євсєєв, Н. П. Демська, В. О. Руденко // *Наука і техніка сьогодні*. – 2022. – № 4(4). – С.163-174.
9. Євсєєв В.В. Проектування мобільних роботів на базі одноплатних комп'ютерів (Raspberry Pi и мови Python 3.6) // Невлюдов І. Ш., Андрусевич А. О., Євсєєв В. В. Підручник. – Харків : 2020. С. 257.
10. Невлюдов І. Ш., Андрусевич А. О., Євсєєв В. В., Новоселов С. П., Демська Н. П. Проектування мобільних маніпуляційних роботів: Монографія. – Х. :, 2022. – 427 с.
11. Yevsieiev V. Zoomorphic Mobile Robot Development for Vertical Movement Based on ESP 32-CAM / V. Yevsieiev, N. Demska, V. Rudenko // *An in-tegrated approach to science modernization: methods, models and multidisciplinary-ity : The III Correspondence International Scientific and Practical Conference*, April 29th, 2022. – Vienna, Austria, 2022. – P. 330-332.
12. Yevsieiev V., Maksymova S., Starodubcev N. Software Implementation Concept Development for the Mobile Robot Control System on ESP-32CAM // *Current issues of science, prospects and challenges: collection of scientific papers «SCIENTIA» with Proceedings of the II International Scientific and Theoretical Conference (Vol. 2)*, June 10, 2022. Sydney, Australia: European Scientific Platform., 2022. P. 54-56
13. Yevsieiev V. Analysis of Crawler Robots / V. Yevsieiev, S. Shmatko // “*Innovations Technologies in Science and Practice*” : The VI International Scientific and Practical Conference, February 15-18, 2022. – Haifa, Israel, 2022. – P. 510-514.