

DOI: <https://doi.org/10.17816/gc623480>

# Разработка биомиметического движителя для робота-рыбы

И.В. Митин<sup>1,2\*</sup>, Р.А. Коротаев<sup>1,2</sup>, В.И. Миронов<sup>1,2</sup>, С.А. Лобов<sup>1,2</sup>, В.Б. Казанцев<sup>1,2,3</sup><sup>1</sup> Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград, Российская Федерация;<sup>2</sup> Нижегородский государственный университет имени Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Российская Федерация;<sup>3</sup> Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики, Санкт-Петербург, Российская Федерация

## АННОТАЦИЯ

Биомиметические роботы призваны воспроизвести принципы движения живых существ в природе. Эти принципы постоянно совершенствовались природой для обеспечения выживания существ. С технической точки зрения выживание обеспечивается двумя принципами: снижением потребления энергии во время движения и увеличением различных параметров движения: например, скорости, пройденного расстояния или ускорения. Было несколько попыток разработать биомиметического робота-рыбу [1–3].

Тунцы — это группа рыб с множеством эволюционных адаптаций (например, формой хвоста, формой грудного плавника и т.д.), что делает их высокоэффективными пловцами. При тунниформном плавании изгиб обычно ограничивается задней третью тела и достигает максимальной амплитуды на конце хвостового плавника.

Нами разработан биоинспирированный движитель для роботизированной модели рыбы. В основе системы лежит сочетание эластичной пластины с закреплённым на ней хвостовым плавником. Хвостовой плавник соединён с серводвигателем двумя симметричными подвижными тягами, имитирующими сокращения мышц. Двигательная установка обеспечивает колебательное движение плавника с регулируемой амплитудой и частотой. Колебания хвоста трансформируются в движение роботизированной рыбы, реализующей тунниформный принцип передвижения. Форма тела и форма хвостового плавника рыбы-робота были спроектированы с помощью вычислительной модели, имитирующей виртуальное тело в водной среде. Сконструирован и испытан в экспериментальных условиях также прототип роботизированной рыбы.

Проведена серия экспериментов по изучению зависимости кинематики робота от динамических параметров движителя. Обнаружено, что скорость робота увеличивалась с ростом частоты колебаний хвостового плавника. Мы также обнаружили, что для фиксированных частот существует интервал энергетически предпочтительных скоростей движения вплоть до пороговой скорости. Возможно также движение с более высокой скоростью, однако при больших затратах энергии. Этот вывод качественно согласуется с данными исследований энергозатрат на перемещение живых тунцов, хотя количественно значения, полученные для робота, всё же выше. Максимальная скорость нашей роботизированной рыбы составляла около 0,4 длины тела в секунду, что выше, чем в других работах (0,22 дл. тел./с [4], 0,254 дл. тел./с [5]), где использовали упрощённый вариант хвостовой части.

Отметим, что в работе изучалась зависимость эффективности плавания робота от амплитуды в дополнение к работам, в которых рассматривалась зависимость от частоты биений хвоста или зависимость частоты и скорости плавания. Мы обнаружили, что для представленного движителя (при фиксированной частоте) увеличение амплитуды колебаний только до определённого порога приводит к увеличению скорости плавания. Дальнейшее увеличение амплитуды колебаний приводит к слабому увеличению скорости при более высоких затратах энергии.

Проведена оценка энергоэффективности в зависимости от динамических параметров колебаний хвостового плавника. Показано, что при увеличении амплитуды колебаний хвоста выше пороговой энергозатраты на перемещение возрастают. Мы также обнаружили, что для фиксированных частот существует интервал энергетически предпочтительных скоростей движения вплоть до пороговой скорости. Возможно движение с большей скоростью, однако оно более энергозатратное. Как правило, для увеличения скорости плавания предпочтительно увеличивать частоту колебаний хвостового плавника, а не амплитуду. Эти выводы находятся в качественном согласии с результатами численного моделирования тунниформного плавания.

**Ключевые слова:** рыба-робот; биоморфные системы; тунниформное плавание; плавание рыб; актуатор; автономные подводные аппараты.

Рукопись получена: 18.05.2023

Рукопись одобрена: 26.11.2023

Опубликована online: 20.01.2024

**Как цитировать:**

Митин И.В., Коротяев Р.А., Миронов В.И., Лобов С.А., Казанцев В.Б. Разработка биомиметического движителя для робота-рыбы // Гены и клетки. 2023. Т. 18, № 4. С. 866–869. DOI: <https://doi.org/10.17816/gc623480>

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Вклад авторов.** Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

**Источник финансирования.** Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 21-12-00246).

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Romano D., Wahi A., Miraglia M., Stefanini C. Development of a novel underactuated robotic fish with magnetic transmission system // *Machines*. 2022. Vol. 10, N 9. P. 755. doi: 10.3390/machines10090755
2. van den Berg S.C., Scharff R.B.N., Rusak Z., Wu J. OpenFish: biomimetic design of a soft robotic fish for high speed locomotion // *HardwareX*. 2022. Vol. 12. P. e00320. doi: 10.1016/j.ohx.2022.e00320
3. Rossi C., Coral W., Colorado J., Barrientos A. A motor-less and gear-less bio-mimetic robotic fish design. In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*; 2011 May 9–13; P. 3646–3651. doi: 10.1109/ICRA.2011.5979611
4. Lau W.P., Zhong Y., Du R., Li Z. Bladderless swaying wire-driven robot shark. In: *Proceedings of the 2015 IEEE 7th International Conference on Cybernetics and Intelligent Systems (CIS) and IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics (RAM)*, Siem Reap; 2015. Cambodia. 2015 Jul 15–17; P. 155–160.
5. Li Z., Du R., Zhang Y., Li H. Robot fish with novel wire-driven continuum flapping propulsor // *Applied Mechanics and Materials*. 2013. Vol. 300. P. 510–514. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.300-301.510

## КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

\* И.В. Митин; адрес: Российская Федерация, 236041, Калининград, ул. А. Невского, д. 14; e-mail: [illya.mitin@gmail.com](mailto:illya.mitin@gmail.com)

DOI: <https://doi.org/10.17816/gc623480>

# Development of the bioinspired propulsion system for a robotic fish

I.V. Mitin<sup>1,2\*</sup>, R.A. Korotaev<sup>1,2</sup>, V.I. Mironov<sup>1,2</sup>, S.A. Lobov<sup>1,2</sup>, V.B. Kazantsev<sup>1,2,3</sup><sup>1</sup> Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russian Federation, Kaliningrad, Russian Federation;<sup>2</sup> National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russian Federation;<sup>3</sup> Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics, Saint Petersburg, Russian Federation

## ABSTRACT

Biomimetic robots aim to replicate the movement principles of living creatures, which have been continuously perfected by nature to ensure survival. Technically, survival comprises two factors: optimizing movement efficacy, such as speed, distance traveled, or acceleration, and minimizing energy consumption during movement. Researchers have made several attempts to develop a biomimetic fish robot [1–3].

Tunas are a group of fish with numerous evolutionary adaptations that make them exceptional swimmers, including tail shape, lateral peduncle keels, pectoral fin shape, and finlets. Thunniform locomotion is characterized by limited undulation, typically restricted to the rear one-third of the body, with maximal amplitude reached at the end of the tail peduncle.

A bioinspired propulsion system was developed for a robotic fish model. It is based on the combination of an elastic cord with a tail fin that is firmly attached to the cord. Two symmetric movable thrusts that simulate muscle contractions connect the tail fin to a servomotor. The propulsion system provides oscillatory tail movement that can be controlled for amplitude and frequency. This movement translates to the movement of the robotic fish, which executes the thunniform principle of locomotion.

The body and tail fin of the robotic fish were designed using a computational model that simulates a virtual body in water. Subsequently, we constructed a prototype of the robotic fish and tested it under experimental conditions.

Experiments were conducted to investigate the relationship between the robot's kinematics and the dynamic parameters of the propulsion system. The results showed that increasing the frequency of tail fin oscillations led to an increase in the robot's speed. At fixed frequencies, there was an interval of energetically efficient travel speeds up to a threshold velocity. Movement at higher speeds was achievable; however, it was accompanied by greater power consumption. The conclusion aligns with the data from COT studies on living tunas, indicating qualitative agreement. However, the robot's values were quantitatively higher. Our robotic fish reached a maximum speed of approximately 0.4 BL/s, exceeding speeds in other works where a simplified tail section was used (0.22 BL/s [4], 0.254 BL/s [5]).

Our study demonstrated a correlation between the efficiency of robot swimming and amplitude, which was previously unexplored in addition to previous findings on the relationship between tail beat frequency and swimming speed, as well as the dependence of frequency and swimming speed. The results showed that increasing the oscillation amplitude of the propulsion system, at a fixed frequency, only led to a rise in swimming speed up to a certain threshold. However, further increases in amplitude resulted in minimal speed increases at higher energy costs.

An evaluation of energy efficiency was conducted, assessing its dependence on dynamic parameters of tail oscillation. The results show that the transport cost rises as the tail amplitude rises beyond the threshold. Furthermore, it was found that for a fixed frequency, an interval of energetic preferred speeds up to a threshold exists. Although moving at a higher speed is possible, it consumes more power. In general, it is preferable to increase caudal fin oscillation frequency rather than amplitude to increase swimming speed. These findings are in qualitative accordance with the outcomes of the numerical simulation of thunniform swimming.

**Keywords:** robotic fish; biomorphic system; thunniform locomotion; fish swimming; actuator; autonomous underwater vehicles.

## To cite this article:

Mitin IV, Korotaev RA, Mironov VI, Lobov SA, Kazantsev VB. Development of the bioinspired propulsion system for a robotic fish. *Genes & cells*. 2023;18(4):866–869. DOI: <https://doi.org/10.17816/gc623480>

**Received:** 18.05.2023**Accepted:** 26.11.2023**Published online:** 20.01.2024

## ADDITIONAL INFORMATION

**Authors' contribution.** All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

**Funding sources.** This study was supported by the Russian Science Foundation (grant No. 21-12-00246).

**Competing interests.** The authors declare that they have no competing interests.

## REFERENCES

1. Romano D, Wahi A, Miraglia M, Stefanini C. Development of a novel underactuated robotic fish with magnetic transmission system. *Machines*. 2022;10(9):755. doi: 10.3390/machines10090755
2. van den Berg SC, Scharff RBN, Rusák Z, Wu J. OpenFish: biomimetic design of a soft robotic fish for high speed locomotion. *HardwareX*. 2022;12:e00320. doi: 10.1016/j.ohx.2022.e00320
3. Rossi C, Coral W, Colorado J, Barrientos A. A motor-less and gear-less bio-mimetic robotic fish design. In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*; 2011 May 9–13; P. 3646–3651. doi: 10.1109/ICRA.2011.5979611
4. Lau WP, Zhong Y, Du R, Li Z. Bladderless swaying wire-driven robot shark. In: *Proceedings of the 2015 IEEE 7th International Conference on Cybernetics and Intelligent Systems (CIS) and IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics (RAM), Siem Reap*; 2015 July 15–17. Cambodia. P. 155–160. doi: 10.1109/ICCIS.2015.7274613
5. Li Z, Du R, Zhang Y, Li H. Robot fish with novel wire-driven continuum flapping propulsor. *Applied Mechanics and Materials*. 2013;300:510–514. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.300-301.510

## AUTHORS' CONTACT INFO

\* I.V. Mitin; address: 14 A Nevskogo street, 236041 Kaliningrad, Russian Federation; e-mail: [illya.mitin@gmail.com](mailto:illya.mitin@gmail.com)