

Исследование пропульсивного движения пловца с помощью методов численного моделирования

Научный руководитель – Нуриев Артем Наилевич

Исмагилов Дамир Альбертович

Студент (бакалавр)

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Институт математики и механики им. Н.И. Лобачевского, Казань, Россия

E-mail: DaAIsmagilov@stud.kpfu.ru

Интерес к изучению высокоэффективных природных механизмов движения, сформированных за миллионы лет эволюции, существует в науке давно. В 60–70-е годы появились первые исследования по созданию тяги через изменение формы тела [4]. С 90-х годов развитие численного моделирования вывело исследования на новый уровень. Сегодня главная задача — достичь с помощью биомиметических устройств аэрогидродинамических характеристик, близких к природным аналогам.

В настоящей работе рассмотрим гидродинамику рыбоподобного пловца, представляющего собой цилиндрическое тело с сечением в форме профиля NACA0012 с длиной хорды L и толщиной $b = 0.12L$. Пловец движется со средней скоростью в направлении оси Ox декартовой системы координат и совершает волнообразное колебательное движение, имитирующее изгибные колебания рыбы по закону:

$$y(x, t) = \alpha A(x/L) \sin(\tau(x) - 2\pi xft), \quad 0 \leq x \leq L, \quad (1)$$

где полином $A(x) = 1 + (x - 1)c_1 + (x^2 - 1)c_2$ — огибающая волны ($A(1) = 1$), f — частота колебаний, α — амплитуда колебания хвоста, $\tau(x)$ — фазовая функция, которую для рыб часто записывают в виде $\tau(x) = 2\pi x/(L\lambda)$, где λ — длина волны.

Для описания гидродинамики использовались уравнения Навье-Стокса и неразрывности, записанные в декартовой системе координат, движущейся поступательно вместе с пловцом. Решение проводилось с помощью численной модели написанной на базе библиотеки OpenFOAM при числах Рейнольдса до 80000, что при характерной частоте колебаний 2.5 Гц соответствует длине пловца 0.2 м и скорости 0.4 м/с в воде.

По итогам двумерного моделирования были получены следующие результаты: проведена верификация со статьей [2], найдены зависимости коэффициентов продольной силы и мощности и оценок эффективности от различных кинематических параметров в крейсерском режиме плавания и при постоянной скорости потока, отмечена корреляция с экспериментальными данными для представителей подводного мира [3], подтверждены отношения Бейнбриджа [1], проведена оптимизация кинематических параметров для повышения эффективности.

Источники и литература

- 1) Bainbridge R. The size, shape and density of marine phytoplankton concentrations // Biological Reviews, 1957, Vol. 32, No. 1, P. 91–115.
- 2) Dong G. J.; Lu X. Y. Characteristics of flow over traveling wavy foils in a side-by-side arrangement // Physics of Fluids 1, 2007, Vol. 19, No. 5, Id. 057107.
- 3) Gazzola M.; Argentina M., & Mahadevan L. Scaling macroscopic aquatic locomotion // Nature Physics, 2014, Vol. 10, No. 10, 758–761.
- 4) Lighthill M. J. Note on the swimming of slender fish // Journal of Fluid Mechanics, 1960, Vol. 9, No. 2, P. 305–317.