

ДОКЛАДЫ
АКАДЕМИИ НАУК СССР

1980

ТОМ 253 № 3

(ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК)

Е.В. РОМАНЕНКО

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИКИ ДЕЛЬФИНОВ

(Представлено академиком В.Е. Соколовым 15 I 1980)

В работе (1) предпринята попытка применить теорию академика Академии наук УССР Г.В. Логвиновича (2) к случаю плавания рыб и дельфинов "скомброидным" способом, когда закон деформации их тела принят в форме

$$(1) \quad \eta = \eta_0 \left[k_{\Gamma} - 1 + \exp \left(\alpha \left(\frac{x_2 - x}{L_p} \right)^{\gamma} \right) \right] \sin \omega \left\{ t - \frac{x_2 - x}{c_{\Gamma} [1 + b(x_2 - x)]} \right\}$$

Здесь η_0 — амплитуда колебаний хвоста, k_{Γ} — отношение амплитуд колебаний головы и хвоста, x — текущая координата в инерциальной системе координат x, y, z , движущейся вместе с телом в неограниченной среде в направлении оси Ox , причем координаты концов тела имеют обозначения x_2 (головы) и x_1 (хвоста), $L_p = x_2 - x_1$ — длина тела, ω — круговая частота колебаний тела, t — время, c_{Γ} — фазовая скорость распространения локомоторной волны по телу в точке x_2 , $\alpha = \ln(2 - k_{\Gamma})$. Коэффициенты k_{Γ} , γ и b характеризуют индивидуальные особенности кинематики различных видов рыб и дельфинов и должны быть определены в эксперименте.

В настоящей работе приведены результаты экспериментального исследования кинематики дельфина афалины с целью определения указанных выше коэффициентов.

Кинематику дельфина исследовали двумя методами: методом кино съемки и методом трех акселерометров.

Метод кино съемки состоит в том, что осуществляли кино съемку плавательных движений дельфина, проплывавшего по прямой линии мимо объектива кинокамеры, с последующей расшифровкой кинограмм и определением коэффициентов. Коэффициент k_{Γ} определялся как отношение амплитуд колебаний головы и хвоста. Для определения показателя степени γ измеряли амплитуду колебаний не только головы и хвоста, но еще и спинного плавника. Затем подбирали такое значение показателя степени γ , чтобы измеренные величины амплитуд колебаний в указанных трех точках тела дельфина удовлетворяли закону деформации, представленному формулой (1). Для определения коэффициента b измеряли средние значения фазовой скорости локомоторной волны, распространяющейся по телу дельфина, на участках от головы до спинного плавника и от спинного плавника до хвоста (соответственно, $c_{\Gamma,сп}$ и $c_{хв,сп}$). Вычисляли отношение второй величины к первой, затем, в предположении линейной зависимости фазовой скорости от координаты, путем геометрических построений переходили к отношению значений фазовой скорости локомоторной волны на кончике хвоста ($c_{хв}$) к ее значению в области головы (c_{Γ}). Окончательно вычисляли коэффициент b по формуле

$$b = \left(\frac{c_{хв}}{c_{\Gamma}} - 1 \right) / L_p$$

Метод трех акселерометров состоит в том, что в трех точках тела дельфина (на голове, в области спинного плавника и на лопасти хвоста) закрепляли по ак-

Таблица 1

Параметр	Значение	Параметр	Значение
k_{Γ}	$0,22 \pm 0,02$	$\frac{c_{\Gamma}}{V}$	$1,05 \pm 0,05$
$k_{сп}$	$0,29 \pm 0,02$	ω, c^{-1}	$14,00 \pm 0,7$
γ	$4,07 \pm 0,25$	$V, м \cdot c^{-1}$	$4,3 \pm 0,07$
$b, м^{-1}$	$0,23 \pm 0,02$		

селерометру, которые регистрировали величины колебательных ускорений. Информация с акселерометров по экранированным проводам поступала на вход малогабаритного магнитофона, закрепленного на спинном плавнике дельфина, и записывалась.

Этот метод, в отличие от предыдущего, имеет одно существенное преимущество: он позволяет изучать кинематику дельфина непрерывно в процессе плавания, тогда как метод киносъемки позволяет это делать только в те моменты, когда дельфин находится в кадре. Определение величин k_{Γ} , γ и b по результатам записей принципиально не отличается от описанного в предыдущем методе с той лишь разницей, что запись предварительно дважды интегрируется по времени для того, чтобы перейти от колебательных ускорений к амплитудам смещения точек тела, в которых находились акселерометры.

В результате измерений получены следующие значения параметров плавания дельфинов (см. табл. 1).

Необходимо еще раз подчеркнуть, что все измерения были проведены при одном и том же значении скорости плавания дельфина, указанном в таблице. Приведенные во всех случаях погрешности равны одной среднеквадратичной ошибке измерения среднего значения. Измерения проведены на одном экземпляре дельфина, вес которого около 150 кг, длина 2,24 м.

В работе ⁽¹⁾ проведенный анализ физического механизма плавания рыб и дельфинов позволил предположить соотношение между параметрами γ и b в форме

$$\frac{V\alpha^2 e^{2\alpha}}{L_p^2} \gamma^2 = \frac{\omega^2}{V} \left[\frac{1}{1 + L_p b} \right] \left[1 - \frac{1}{1 + L_p b} \right].$$

Эту формулу удобнее записать в виде $\gamma = \omega L_p \sqrt{L_p b} \alpha e^{\alpha} V (1 + L_p b)$.

Подставляя в эту формулу значение параметра b и других необходимых параметров из приведенной выше таблицы, получим для γ значение 3,5, что вполне удовлетворительно согласуется с измеренным значением 4,07, отличаясь от него всего на 16%. Здесь необходимо подчеркнуть, что значение параметров γ и b , приведенные в таблице, получены в эксперименте совершенно независимо и разными методами.

Приведенные результаты позволяют сделать следующие заключения. 1. Обнаружена неизвестная ранее зависимость фазовой скорости локомоторной волны, распространяющейся по телу дельфина от головы к хвосту в процессе активного плавания, от координаты в системе координат, связанной с телом животного. Фазовая скорость волны в области хвоста дельфина в полтора раза превышает фазовую скорость в области головы в режиме плавания дельфина с постоянной скоростью, равной 4,3 м/с. Таким образом подтвердилось предположение, высказанное в работе ⁽¹⁾. 2. Закон деформации тела дельфина в процессе активного плавания

существенно нелинеен и удовлетворительно аппроксимируется экспоненциальной функцией, представленной формулой (1). 3. Удовлетворительное согласие измеренных и теоретически предсказанных значений параметров γ и b свидетельствует о том, что зависимость фазовой скорости локомоторной волны от координаты, по-видимому, близка к линейной.

Институт эволюционной морфологии
и экологии животных им. А.Н. Северцова
Академии наук СССР, Москва

Поступило
4 IV 1980

ЛИТЕРАТУРА

¹ *Е.В. Романенко*, ДАН, т. 253, № 5 (1980). ² *Г.В. Логвинович*, Гидродинамика течений со свободными границами, Киев, 1969.