

ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО

УДК 639.2.081.001. 57.681.3

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИКИ ПОГРУЖЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ЯРУСА

© 2015 г. Л. А. Габрюк

Морской государственный университет имени Г.И. Невельского, Владивосток, 690003

Поступила в редакцию 09.04.2014 г.

Сформулирована постановка задачи «погружение вертикального крючкового яруса». Поставленная задача решена с использованием теорем динамики систем переменной массы. Разработано программное обеспечение на базе программной среды MathCad-14 для расчета характеристик вертикального яруса на трех этапах его погружения. При моделировании использована хребтина, представляющая канат с равномерно распределенными поводцами, крючками и наживкой. Задача решается с учетом присоединенной массы глубоководного буйа. Решение системы исходных дифференциальных уравнений получено с помощью численных методов. Выполнен анализ зависимости времени (скорости) погружения от типа погружаемой хребтины с учетом зависимости коэффициентов гидродинамических сил от числа Рейнольдса. Установлено влияние сил инерции на формирование картины движения. Полученные аналитические данные коррелируют с экспериментальными исследованиями.

Ключевые слова: вертикальный крючковый ярус, хребтина, глубоководный буй, погружение, присоединенная масса.

ВВЕДЕНИЕ

Вертикальные крючковые яруса широко используются в рыболовстве многих стран (Норвегия, Исландия, Китай, Япония) для лова таких объектов, как кальмары, треска, терпуг и др. Они также используются для определения глубин нахождения гидробионтов при их облове горизонтальными ярусами.

Механику вертикальных крючковых ярусов исследовали многие (Кокорин, 1994; Артюхин и др., 2008; Габрюк и др., 2008). В этих работах получены модели яруса для момента его застоя. Но механика погружения вертикального яруса остается неизученной. Эта задача представляет особый интерес для глубоководных ярусов, так как на промысле важно знать время погружения яруса на заданную глубину.

Цель работы — исследование механики погружения вертикального яруса в покоящейся жидкости.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Экспериментальным исследованием поставленной задачи занимались и ранее (Кокорин, 1994; Артюхин и др., 2008; Сеславинский, Аверков, 2010). Исследование погружения вертикального крючкового яруса выполняется в три этапа (рис. 1): на первом погружается система якорь-хребтина, на втором — система якорь-хребтина-глубоководный буй, на третьем — система якорь-хребтина-глубоководный буй-буйлинь (рис. 1, I—III). Исследуем погружение яруса на каждом из этих этапов.

Основные допущения, используемые при составлении дифференциальных уравнений:

в модели рассматривается покоящаяся жидкость;

погружение элементов вертикального яруса осуществляется поступательно, поэтому их скорости и ускорения равны (Бутенин и др., 1970);

гидродинамические коэффициенты элементов яруса зависят от числа Рейнольдса;

при расчете гидродинамических сил поплавки, кухтыли, буи рассматриваются как шары, грузы (якоря), канаты — как цилиндры;

при $10^2 \leq Re < 2 \cdot 10^5$ гидродинамические коэффициенты цилиндров не зависят от числа Рейнольдса, т.е. имеет место автомодельность по Re ;

при $10^3 \leq Re < 5 \cdot 10^5$ коэффициенты гидродинамического сопротивления шаров не зависят от числа Рейнольдса, т.е. наблюдается автомодельность по Re ;

хребтина представляет канат с равномерно распределенными поводцами, крючками, наживкой.

Механика погружения яруса на первом этапе. Движение начинается в начале координат системы Oxz с началом на поверхности воды (рис. 1, I). Система координат Oxz связана с неподвижной жидкостью. Используя теорему об изменении количества движения механической системы якорь-хребтина, имеем $d(M_C \vec{V}_C)/dt = \Sigma \vec{F}_k^e$, где $M_C = M_a + mz$ — масса системы, M_a — масса якоря, m — линейная плотность хребтины с вооружением (масса хребтины с вооружением, приходящая на единицу ее длины), mz — масса хребтины с вооружением, z — текущая координата погружения якоря и хребтины, равная глубине погружения яруса;

$\Sigma \vec{F}_k^e$ — сумма проекций внешних сил системы якорь-хребтина; \vec{V}_C — скорость центра масс системы якорь-хребтина.

Векторное уравнение движения центра масс системы якорь — хребтина имеет вид:

$$\frac{d}{dt}[(M_a + mz) \frac{d}{dt} \vec{V}_C] = \vec{Q}_a + \vec{Q}_{xr} + \vec{R}_a + \vec{R}_{xr} + \vec{t}_p z.$$

Проецируем это уравнение на вертикальную ось Z (здесь и дальше индекс Z в обозначениях проекций опустим, ввиду того что у нас всего одна координата) и получаем:

$$d(M_C V_C)/dt = \Sigma F_k^e \Rightarrow m(dz/dt)V_C + M_C dV_C/dt = Q_a + Q_{xr} - R_a - R_{xr} + t_p z, \quad (1)$$

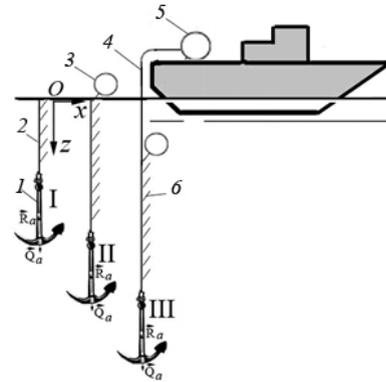


Рис. 1. Картина погружения вертикального яруса: I—III — этапы погружения.

1 — якорь, 2 — хребтина, 3 — глубоководный буй, 4 — буйлинь, 5 — поверхностный буй.

где ΣF_k^e — сумма проекций внешних сил на вертикальную ось z , направленных по отвесу ($z \downarrow \downarrow \vec{g}$); Q_a, Q_{xr} — проекции веса в воде якоря и хребтины; R_a, R_{xr} — проекции гидродинамических сил сопротивления якоря и хребтины; t_p — проекция сил натяжения поводца, приходящегося на единицу длины хребтины. Скорость центра масс системы якорь-хребтина определяется формулой:

$$V_C = \frac{dz_c}{dt} = V[1 - m(M_a z + 0,5mz^2) / M_C^2];$$

$$z_c = \frac{M_a z + 0,5m \cdot z^2}{M_a + mz}.$$

Скорость погружения яруса определяется формулой:

$$\frac{dz}{dt} = V. \quad (2)$$

Линейная плотность хребтины с вооружением равна: $m = M / l_{xr}$, где l_{xr} — длина хребтины; M — суммарная масса хребтины с вооружением, которая определяется по формуле: $M = m_k l_{xr} + n_{kp}^S (m_p l_p + m_{kr+H})$, здесь n_{kp}^S — количество крючков в секции; $m_k l_{xr}$, $m_p l_p$, m_{kr+H} — массы соответственно хребтины, крючкового поводца, наживки с крючком (l_p — длина крючкового поводца, m_k — линейная плотность хребтины; m_p —

линейная плотность поводца). Длина хребтины равна $l_{xr} = 2l_{GK} + (n_{kp}^S - 1)l_{pp}$, где l_{pp} — расстояние между двумя соседними поводцами. Длина голых концов хребтины равна $l_{GK} = l_{pp}$. Проекция веса в воде якоря и хребтины равны: $Q_a = k_w^a M_a g$; $Q_{xr} = k_w^k m_k z g$, где k_w^a , k_w^k — коэффициенты веса в воде якоря и хребтины. Проекция от натяжения поводца и наживки с крючком, приходящихся на единицу длины хребтины, равна $t_p = r_p - q_p$, где $q_p = \frac{n_{kp}^S}{l_{xr}} (Q_p + Q_{kr+H})$; $r_p = \frac{n_{kp}^S}{l_{xr}} (R_p + R_{kr+H})$.

Здесь через Q_p , Q_{kr+H} обозначены вес в воде крючкового поводца и наживки с крючком, которые вычисляются по формулам: $Q_p = k_w^p m_p l_p g$; $Q_{kr+H} = k_w^{kr+H} m_{kr+H} g$, где k_w^p , k_w^{kr+H} — коэффициенты веса в воде соответственно крючкового поводца и наживки с

крючком. Проекция гидродинамических сил сопротивления якоря и хребтины обозначены как R_a , R_{xr} и определяются по формулам:

$$R_a = 0,5C_a \rho V^2 S_a; \quad R_{xr} = 0,5C_k \rho V^2 (d_k z),$$

где ρ — плотность воды, S_a — характерная площадь якоря, C_a , C_k — коэффициенты гидродинамических сил якоря и каната хребтины; d_k — диаметр каната хребтины. Проекция гидродинамических сил крючкового поводца и наживки с крючком определяются по формулам: $R_z^p = 0,5C_p \rho V^2 S_p$; $R_z^{kr+H} = 0,5C_{kr+H} \rho V^2 S_{kr+H}$, где C_p , C_{kr+H} — коэффициенты гидродинамических сил крючкового поводца и наживки с крючком; S_p , S_{kr+H} — характерная площадь крючкового поводца и наживки с крючком.

Запишем уравнения (1), (2) в нормальной форме (форме Коши):

$$\frac{dV}{dt} = \frac{M_a + m z}{(M_a^2 + M_a m z + 0,5m^2 z^2)} \times \left\{ - \left[\frac{m^2 z (M_a + 0,5m z)}{(M_a + m z)^2} + 0,5\rho (C_a S_a + C_k d_k z + \frac{n_{kp}^S}{l_{xr}} (C_p S_p + C_{kr+H} S_{kr+h}) z) \right] V^2 + \right. \\ \left. + k_w^a M_a g + (k_w^k m_k + \frac{n_{kp}^S}{l_{xr}} (k_w^p m_p l_p + k_w^{kr+H} m_{kr+H})) g z \right\} \quad (3)$$

$$\frac{dz}{dt} = V.$$

Система (3) описывает погружение вертикального яруса на первом этапе при $t \in (0, t_1)$.

Механика погружения яруса на втором этапе. На втором этапе происходит погружение глубоководного буя с начальной скоростью, равной скорости системы якорь-хребтина в конце первого этапа (рис. 1, II).

При исследовании погружения яруса на втором этапе будем учитывать присоединенную массу буя. Присоединенная масса оказывает влияние на движение тела только в том случае, когда она имеет тот же порядок величины, что и собственная масса тела (Лойцянский, 1978). Поэтому при исследовании движения системы якорь-хребтина присоединенная масса якоря и хребтины не учитывалась, так как якорь — стальной и

его плотность значительно больше плотности воды, а плотность хребтины сравнима с плотностью воды, но в силу малости диаметра каната (присоединенная масса которого равна массе воды в объеме каната) в работе ею пренебрегали. Вследствие этого на этапах II и III учитывается присоединенная масса буя.

Присоединенная масса, будучи добавленной к массе буя, учитывает действие на него жидкости. Особенностью присоединенной массы является то, что она зависит не только от геометрии тела, но и от направления движения. Присоединенную массу μ погруженной части буя (сферы) определим из формулы (Седов, 1973):

$$\mu = \rho r_b^3 \int_0^\theta \cos^2 \delta \sin \delta d\delta = \frac{\pi}{3} \rho r_b^3 (1 - \cos^3 \theta). \quad (4)$$

Через θ обозначен переменный угол между осью z и радиусом буйа r_b , проведенного в точку касания буйа с поверхностью воды. Глубина погружения буйа находится из выражения:

$$h = r_b(1 - \cos \theta), \quad (0 < \theta < \pi). \quad (5)$$

Используя теорему об изменении количества движения механической системы якорь-хребтина-глубоководный буй, с учетом присоединенной массы буйа составим векторное уравнение движения: $d[(M + \mu)\vec{V}]/dt = \sum \vec{F}_k^e$, где $M = M_a + M_{xr} + M_b$; μ — присоединенная масса буйа; $\sum \vec{F}_k^e$ — сумма внешних сил системы якорь-хребтина-глубоководный буй.

Проецируем векторное уравнение на вертикальную ось z , получим:

$$(M + \mu)(dV/dt) + (d\mu/dt)V = Q_a + Q_{xr} + G_b - R_a - R_{xr} - t_p l_{xr}. \quad (6)$$

Здесь $Q_a = k_w^a M_a g$; $Q_{xr} = k_w^k m_k l_{xr} g$; $G_b = M_b \cdot g$;

$$R_{xr} = 0.5 \cdot C_{xr} \rho V^2 S_{xr}; \quad R_a = 0.5 \cdot C_a \rho V^2 S_a, \quad (7)$$

$$\frac{dV}{dt} = \frac{1}{M_a + m l_{xr} + M_b + \mu} \times \left[(k_w^a M_a + k_w^k m_k l_{xr} + M_b + n_{kp}^S (k_w^p m_p l_p + k_w^{kr+H} m_{kr+H})) g - \right. \\ \left. \times [-0.5 \rho V^2 (C_a S_a + C_k d_k l_{xr} + n_{kp}^S (C_p S_p + C_{kr+H} S_{kr+H})) + \frac{\pi}{2} \rho d_b^2 \cos^2 \theta] \right]. \quad (9)$$

Уравнение (9) является дифференциальным уравнением погружения вертикального яруса на втором этапе при $t \in (t_1, t_2)$. Для решения уравнения (9) необходимо знать угол θ . Скорость изменения угла θ определяется, как $\frac{d\theta}{dt} = \frac{d\theta}{dh} \frac{dh}{dt}$. Из уравнения

$$(5) \text{ получим } \frac{d\theta}{dh} = \frac{1}{r_b \sin \theta}. \text{ Далее, учитывая, что } h = z \text{ и } \frac{dz}{dt} = V, \text{ имеем: } \frac{d\theta}{dt} = \frac{1}{r_b \sin \theta} \frac{dz}{dt}$$

или

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{1}{r_b \sin \theta} \frac{dz}{dt}; \quad 0 < \theta < \pi. \quad (10)$$

где z — текущая координата погружения буйа, равная глубине погружения буйа; G_b — проекция веса буйа на ось z ; V — скорость погружения системы якорь-хребтина-глубоководный буй; l_{xr} — длина хребтины, S_a, S_{xr} — характеристическая площадь якоря и хребтины; ρ — плотность воды, M_b — масса буйа, t_p — проекция сил натяжения поводка, приходящихся на единицу длины хребтины.

Выполняя дифференцирование уравнения (4), имеем:

$$\frac{d\mu}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{\pi \rho}{3} r_b^3 (1 - \cos^3 \theta) \right) = \frac{\pi}{4} \rho d_b^2 \cos^2 \theta \frac{dh}{dt}, \quad (8)$$

где d_b — диаметр буйа; h — глубина погружения буйа.

Ввиду того, что в начальный момент погружения буйа касается воды, глубина погружения буйа совпадает с его перемещением z , т.е. $h = z$. С учетом выражения (8) уравнение (6) примет вид:

Уравнение (10) имеет особые точки при $\theta = 0$ и $\theta = \pi$, так как при этих значениях θ знаменатель дроби в (10) обращается в ноль.

Механика погружения яруса на третьем этапе. Используя теорему об изменении количества движения для механической системы якорь-хребтина-глубоководный буй-буйлинь (рис. 1, III), имеем: $d(M_C \vec{V}_C)/dt = \sum \vec{F}_k^e$, где M_C — масса всей системы, равная $M_C = M + m_b l$ ($M = M_a + m l_{xr} + M_b + \mu$); m — линейная плотность хребтины с вооружением; M_a, M_b — массы якоря и буйа; m_b — линейная плотность буйлиня; μ — присоединенная масса буйа, равная $\frac{2}{3} \rho \pi \left(\frac{d_b}{2}\right)^3$; V_C — скорость центра масс

системы якорь-хребтина-глубоководный буй-буйлинь; $\Sigma \vec{F}_k^e$ — сумма внешних сил системы. После дифференцирования векторное уравнение движения центра масс системы якорь-хребтина-глубоководный буй-буйлинь имеет вид:

$$m_{bl}(dz/dt)\vec{V}_C + M_C d\vec{V}_C/dt = \vec{Q}_a + \vec{Q}_{xr} + \vec{Q}_b + \vec{Q}_{bl} + \vec{R}_a + \vec{R}_{xr} + \vec{R}_b + \vec{R}_{bl} + \vec{t}_p l_{xr}.$$

Проецируем это уравнение на ось z, получим:

$$d(M_C V_C)/dt = \Sigma F_k^e \Rightarrow$$

$$\begin{aligned} dM_C/dt &= m_{bl}(dz/dt) = m_{bl}V; z_C = (Mz + 0,5m_{bl}z^2 + l_{xr}(M_a + 0,5ml_{xr}))/M_C; \\ V_C &= dz_C/dt = V[1 - m_{bl}(MMz + 0,5m_{bl}z^2 + N)/M_C^2]; \\ dV_C/dt &= \frac{dV}{dt} \frac{M^2 + M \cdot m_{bl}z + 0,5m_{bl}^2 z^2 - Nm_{bl}}{(M + m_{bl}z)^2} - \frac{m_{bl}(M - 2Nm_{bl})}{(M + m_{bl}z)^3} V^2; \\ N &= l_{xr}(M_a + 0,5ml_{xr}); Q_a = k_w^a M_a g; Q_{xr} = k_w^a m l_{xr}; Q_b = k_w^b M_b g; Q_{bl} = k_w^{bl} m_{bl} g z; \\ R_a &= 0,5C_a \rho S_a V^2; R_{xr} = 0,5C_k \rho S_k V^2; R_b = 0,5C_b \rho S_b V^2; R_{bl} = C_{bl}(\rho V^2/2)d_{bl}z, \end{aligned} \quad (12)$$

где $k_w^a, k_w^k, k_w^b, k_w^{bl}$ — коэффициенты хребтины; V — скорость погружения яруса веса в воде якоря, каната хребтины, буя, са. Система уравнений (11), (2) с учетом буйлиня; S_a, S_b — площади якоря, буя; d_b, d_{bl} — диаметры буя и буйлиня; l_{xr} — длина (12) примет вид:

$$\begin{aligned} \Rightarrow m_{bl}(dz/dt)V_C + M_C dV_C/dt &= \\ &= Q_a + Q_{xr} + Q_b + Q_{bl} - R_a - \\ &\quad - R_{xr} - R_b - R_{bl} - t_p l_{xr}, \end{aligned} \quad (11)$$

где Q_a, Q_{xr}, Q_b, Q_{bl} — проекции веса в воде якоря, хребтины, буя и буйлиня; R_a, R_{xr}, R_b, R_{bl} — проекции гидродинамических сил якоря, хребтины, буя и буйлиня; t_p — проекция от натяжения поводца с крючками и наживкой, приходящихся на единицу длины хребтины.

Основные величины, входящие в уравнение (11), вычисляются по формулам:

$$\begin{aligned} \frac{dV}{dt} &= \frac{M + m_{bl}z}{M^2 + Mm_{bl}z + 0,5m_{bl}^2 z^2 - (M - 2Nm_{bl})m_{bl}} \times \\ &\left\{ \frac{m_{bl}[(M - 2Nm_{bl}) - (M + m_{bl}z)^2]}{(M + m_{bl}z)^2} - \right. \\ &\left. -0,5\rho(C_a S_a + C_k d_k z + n_{kp}^S(C_p S_p + C_{kr+H} S_{kr+H})) + C_b \frac{\pi}{4} d_b + 0,5\rho C_{bl} d_{bl} z \right\} V^2 + \\ &\left. + g(k_w^a M_a + k_w^k m_k l_{xr} + n_{kp}^S(k_w^p m_p l_p + k_w^{kr+H} m_{kr+H})) + k_w^b M_b + k_w^{bl} m_{bl} z \right\} \quad (13) \\ \frac{dz}{dt} &= V. \end{aligned}$$

Система (13) описывает погружение вертикального яруса на третьем этапе при $t \in (t_2, t_3)$.

В гидромеханике полное сопротивление воды движению тела выражается формулой Ньютона: $R = c_z \frac{\rho}{2} S V^2$, где c_z — безразмерный коэффициент сопротивления; ρ — плотность воды; V — скорость; S — характерная площадь тела (как правило, это затененная площадь).

Коэффициент сопротивления является функцией, зависящей от физических свойств жидкости, формы и размеров тела, т.е. зависит от чисел Рейнольдса (Re), $c_z = f(Re)$. Числа Рейнольдса определялись по формуле: $Re = d \cdot v / \vartheta$; здесь d — диаметр тела, v — скорость движения, ϑ — кинематическая вязкость жидкости ($\vartheta = 1,6 \cdot 10^{-6}$). В работе зависимость коэффициентов сил сопротивления от числа Рейнольдса для шара или цилиндра аппроксимировалась формулой:

$$c_{zv} = k_1 + k_2 \cdot \ln(Re) + k_3 \cdot (\ln(Re))^2. \quad (14)$$

По эмпирическим данным (Седов, 1973) получены коэффициенты k_1, k_2, k_3 , входящие в формулу (14) для шара и цилиндра.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В работе выполнено исследование характеристик погружения вертикального яруса с использованием компьютерного эксперимента. Целью этого эксперимента было выявление влияния типа хребтины и чисел Рейнольдса на время погружения яруса.

Компьютерный эксперимент заключался в расчете с помощью специально разработанной программы «Определение времени погружения элементов вертикального яруса» на языке программной среды MathCad-14. Решение задачи Коши для трех систем нелинейных дифференциальных уравнений — для системы (I) — с помощью уравнения (3), для системы (II) — с помощью уравнений (9), (10), для системы (III) — с помощью уравнения (13) — осуществлялось численным методом Рунге—Кутты. Глубина погружения яруса определялась уравнением (2).

Начальные условия задачи Коши для системы погружения вертикального яруса приведены в табл. 1.

В компьютерном эксперименте использовали стандартную хребтину (линейная плотность 0,076 кг/м) из полиэстера диаметром 10 мм с рыбацким снаряжением и утяжеленную хребтину диаметром 9,5 мм из материала Silverlie («A.S. Fiskevegn», Норвегия) (Артюхин и др., 2008) со свинцовыми сердечником (линейная плотность 0,118 кг/м), состоящие из одной секции. Рыбацкое снаряжение хребтины включает 65 крючков с поводцами и наживкой, а также 24 крючка с поводцами и наживкой. Длина одной секции хребтины равна $l_{xr} = 100$ м. Линейная плотность хребтины с рыбацким снаряжением приведена в табл. 2.

Характеристика элементов вертикального яруса, используемых в компьютерном эксперименте, приведены в табл. 3.

На рис. 2 приведены зависимости скорости погружения стандартной и утя-

Таблица 1. Параметры задачи Коши для системы погружения вертикального яруса на трех этапах

Этап	Время (t)		Скорость (v)		Глубина погружения (z)	
	начальное	конечное	начальное	конечное	начальное	конечное
I	$t_0 = 0$	$t_k = t_1$	$v_0 = 0$	$v_k = v_1$	$z_0 = 0$	$z_k = l_{xr} = z_1$
II	$t_0 = t_1$	$t_k = t_2$	$v_0 = v_1$	$v_k = v_2$	$z_0 = z_1$	$z_k = d_b = z_2$
III	$t_0 = t_2$	$t_k = t_3$	$v_0 = v_2$	$v_k = v_3$	$z_0 = z_2 + z_1$	$z_k = l_T = z_3$

Таблица 2. Линейная плотность хребтины с рыбацким снаряжением

Тип хребтины	Число крючков	Линейная плотность, кг/м
Стандартная	65	0,099
Утяжеленная	65	0,141
Стандартная	24	0,084
Утяжеленная	24	0,127

Таблица 3. Характеристика элементов вертикального яруса

Элемент яруса	Коэффициент		Материал	Диаметр, м	Длина, м	Плотность, кг/м	Масса, кг
	веса в воде	гидродинамический					
Груз	0,870	0,800	Сталь	0,1000	0,08		5,0
Глубоководный буй	-5,247	0,450	Дюралюминий	0,2000		0,6870	
Хребтина:							
– стандартная	0,260	0,023	Полиэстер Silverlie	0,0100	100,00	0,0760	
– утяжеленная	0,300			0,0095	100,00	0,1180	
Буйлинь	0,870	0,023	Полиэстер	0,0100	500,00	0,0700	
Поводец	0,100	0,023	Капрон	0,0030	0,50	0,0056	
Крючок	0,870	0,800	Сталь	0,0200	0,50	0,008	
Наживка	0,020	0,210	Сельдь	0,3000	0,30	0,025	

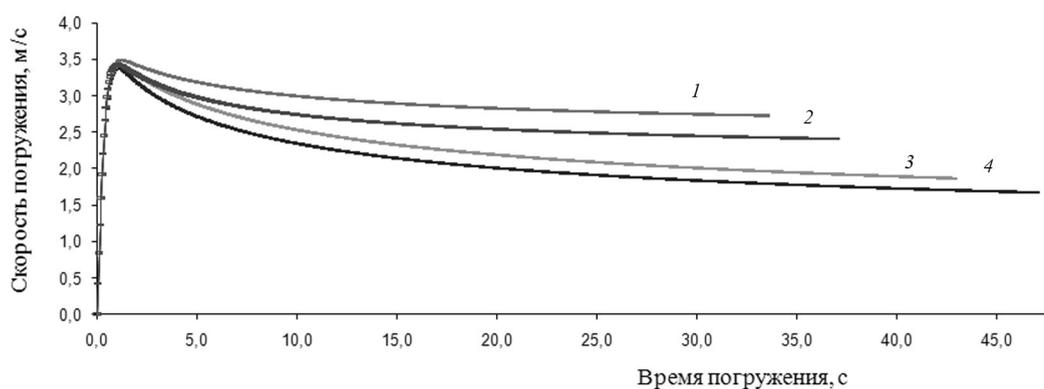


Рис. 2. Графики зависимости скорости погружения: 1, 2 – утяжеленная хребтина с 65 и 24 крючками соответственно; 3, 4 – стандартная хребтина с 24 и 65 крючками соответственно.

желенной хребтины, состоящей из 65 и 24 ного яруса (хребтина – 100 м; буй – 0,2 м; крючков на этапе I. буйлинь – 500 м) приведено в табл. 4.

Время погружения стандартной и утяжеленной хребтины с промысловым вооружением на 10, 20, 100 м и всего вертикаль- утяжеленной и стандартной хребтины для 65

Отношение времени погружения ($\frac{t_u}{t_s}$)

Таблица 4. Время погружения стандартной и утяжеленной хребтины с промысловым снаряжением

Тип хребтины	Число крючков	Время погружения, с			
		хребтины на 10 м	хребтины на 20 м	хребтины на 100 м	яруса
Стандартная	65	3,360	7,000	47,200	472,200
Утяжеленная	65	3,200	6,400	43,800	409,836
Отношение времени погружения утяжеленной и стандартной хребтины		0,952	0,914	0,928	0,868
Стандартная	24	3,210	6,600	42,900	455,362
Утяжеленная	24	3,200	6,667	39,650	392,099
Отношение времени погружения утяжеленной и стандартной хребтины		0,997	1,010	0,924	0,861

и 24 крючков указаны табл. 4. В эксперименте для горизонтального яруса (Артюхин и др., 2008) это отношение составляло для глубины 10 м – 0,58, 20 м – 0,56.

На рис. 3 приведены графики зависимостей скорости погружения вертикального яруса на трех этапах его погружения со стандартной хребтиной с 65 крючками. Графики

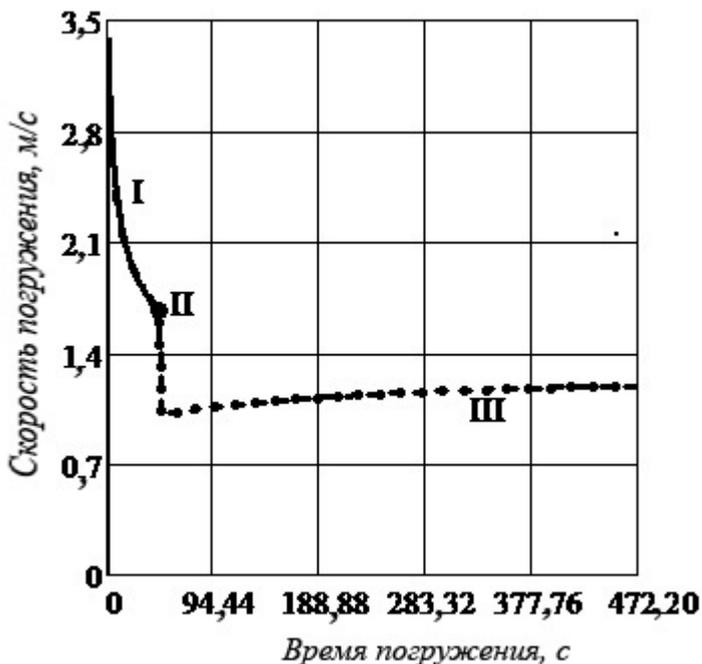


Рис. 3. Графики зависимости скорости погружения вертикального яруса со стандартной хребтиной с бумом диаметром $d = 0,2$ м от времени на всех этапах погружения: I – 100 м, II – 20 м, III – 500 м.

зависимости скорости от времени погружения с учетом C_{zv} и без учета зависимости от числа Рейнольдса совпадают, т.е. имеет место автомодельность по Рейнольдсу.

На рис. 4 показана зависимость скорости погружения яруса от времени с бумом диаметром $d_b = 0,2$ м на втором этапе погружения с учетом и без учета зависимости C_{zv} от числа Рейнольдса.

На рис. 5 показана зависимость величины угла θ от времени погружения для буя диаметром $d_b = 0,2$ м на втором этапе погружения яруса.

Погружение буя является частным случаем падения симметричного относительно оси Oz тела массы M_b в жидкость. На рис. 4 скорость буя вначале быстро падает вследствие его удара о воду, одним из факторов чего является то, что в момент касания с водой ($t_0 = t_1$) буй имеет начальную скорость $V = \dot{z}(t_0)$.

Присоединенная масса влияет на картину погружения. На II и III этапе погружения она имеет один и тот же смысл, однако на каждом из этапов погружения яруса существуют ее особенности. На II этапе в случае погружении буя в жидкость присоединенная

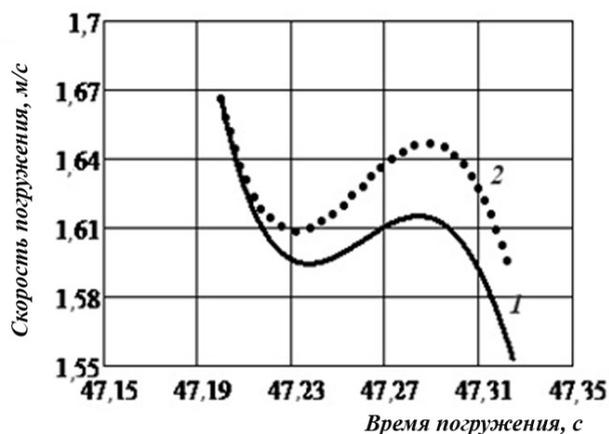


Рис. 4. Графики зависимости $V(t)$ скорости погружения яруса со стандартной хребтиной для буя диаметром 0,2 м из дюралюминия на II этапе погружения яруса: 1 — без учета зависимости от числа Рейнольдса, 2 — с учетом этой зависимости.

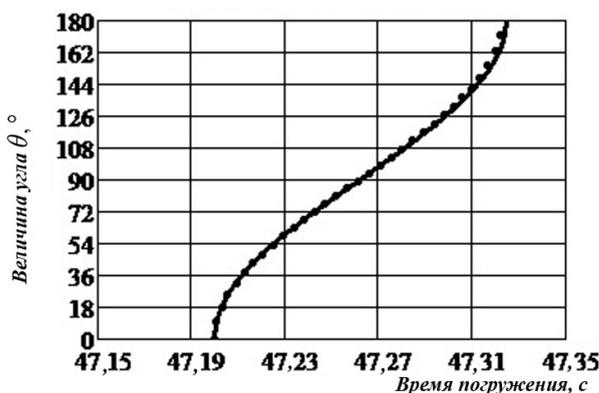


Рис. 5. График зависимости величины угла θ от времени погружения для буя диаметром $d_b = 0,2$ м из дюралюминия на II этапе погружения яруса.

масса является переменной величиной и зависит от истории движения буя (формула (4)). На III этапе погружения яруса буй полностью погружен, поэтому она является постоянной величиной, равной $\frac{2}{3} \rho \pi \left(\frac{d_b}{2}\right)^3$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленной работе приведена математическая модель погружения элементов вертикального яруса. Алгоритм решения модели сведен к решению задач Коши для систем нелинейных дифференциальных уравнений.

В результате проведенных исследований установлено, что утяжеленная хребтина погружается быстрее, что важно при постановке ярусов для защиты их от атаки птиц. В отношении времени погружения утяжеленной и стандартной хребтин для вертикального яруса в предложенной работе и в эксперименте (Артюхин и др., 2008) с горизонтальным ярусом есть корреляция.

Так как погружение ярусов в основном происходит в области автомодельности, то можно не учитывать зависимость гидродинамических коэффициентов от числа Рейнольдса.

Присоединенная масса глубоководного буя оказывает влияние на движение яруса, так как она имеет тот же порядок величины, что и собственная его масса. В работе на ос-

нове формулы Седова (1973) получено выражение (4) для определения присоединенной массы погружающегося буя.

Результаты данной работы могут быть использованы в расчетах параметров при постановке вертикальных ярусов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Артюхин Ю.Б., Винников А.В., Терентьев Д.А. Испытания хребтины, утяжеленной свинцовым сердечником, на ярусном промысле в прикамчатских водах // Изв. ТИНРО. 2008. Т. 154. С. 276–294.
- Бутенин Н.Б., Луц Я.Л., Меркин Д.Р. Курс теоретической механики. М.: Наука, 1971. 462 с.
- Габрюк В.И., Чернецов В.В., Бойцов А.Н. Основы моделирования рыболовных систем. Владивосток: Изд-во Дальрыбвтуза, 2008. 560 с.
- Кокорин Н.В. Лов рыбы ярусами. М.: ВНИРО, 1994. 421 с.
- Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1978. 320 с.
- Седов Л.И. Механика сплошной среды. Т. 2. М.: Наука, 1973. 584 с.
- Сеславинский В.И., Аверков В.Н. Обоснование орудий лова для промысла лососей, альтернативных жаберным сетям // Изв. ТИНРО. 2010. Т. 160. С. 282–297.

THE INVESTIGATION MECHANICAL A DIPPINF OF THE VERTICAL LONGLINES

© 2015 y. L. A. Gabryuk

Sea State University of the name G.I. Neveliskogoy, Vladivostok, 690003

Is Worded statement of the problem «of the dipping of the vertical hook longlines». The deliver problem is solved with use the system speaker theorems of the variable mass. Designed software on the base of the Program ambience MathCad-14 for calculation of the vertical hook longlines on three stages he of the dipping. At modeling is used the Mainline, presenting tightrope with evenly portioned hooks, hook and bait. The Problem dares with provision for joined masses deep-water buoy. The Decision of the system of the source differential equations is received by means of the numerical methods. The Executed analysis to dependencies of time (velocity) of the dipping from type the dipping Mainline with provision for dependencies factor hydra dynamic of power from number Reynolds. The Installed influence of power inertia on shaping the picture of the motion. Got analytical data correlation with experimental studies.
Keywords: vertical hook longlines, mainline, deep-water buoy, dipping, joined masses.