ПРОМРЫБОЛОВСТВО

УДК 639.2.081.4

Л.А. Габрюк[1], В.И. Габрюк[2]*

[1] Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского, 690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а;

[2] Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, 690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

ПОГРУЖЕНИЕ СИСТЕМЫ «ЯКОРЬ–КАНАТ» ВЕРТИКАЛЬНОГО ЯРУСА

Сформулирована постановка задачи «объектов ярусной системы «якорь–канат» в покоящейся жидкости». Поставленная задача решена с использованием теорем динамики систем переменной массы. Разработана программа на базе программной среды MathCad-14 для расчета характеристик системы «якорь–канат» на этапе ее погружения. Решение системы исходных дифференциальных уравнений получено с помощью численных методов. Выполнен анализ зависимости времени (скорости) погружения от типа погружаемого якоря с учетом зависимости коэффициентов гидродинамических сил от числа Рейнольдса. Установлено влияние сил инерции. Представлены результаты анализа зависимостей времени погружения элементов рыболовных орудий от глубины, полученные различными исследователями.

Ключевые слова: канат, якорь, погружение, ярус, система с переменной массой.

Gabryuk L.A., Gabryuk V.I. Submersion of the system «anchor–tightrope» of longline // Izv. TINRO. — 2017. — Vol. 188. — P. 224–228.

A hydrodynamic problem for the longline system «anchor–tightrope» in resting fluid is formulated and solved on base of the theory of dynamics for systems with variable mass. The system of initial differential equations is solved by means of numerical methods using the software designed in MathCad-14 environment; parameters of the «anchor–tightrope» system in the process of submersion are calculated. Dependence of the time and velocity of submersion on type of anchor is analyzed taking into account the hydrodynamic forces dependence on Reynolds number. Influence of inertia force is determined. Cited results for dependence of the submersion time for fishing gear elements on depth are overviewed.

Key words: tightrope, anchor, submersion, longline, system with variable mass.

Введение

Проблема математического моделирования погружения элементов канатных конструкций в потоке жидкости возникает при решении многих прикладных задач промышленного рыболовства. Основным способом исследования в рыболовной практике является эксперимент. Накоплен также и аналитический опыт (Баранов, 1948; Ионас,

* *Габрюк Людмила Александровна, доцент, кандидат технических наук, e-mail: zdorova2003@rambler.ru; Габрюк Виктор Иванович, профессор, доктор технических наук, e -mail: gabrukvi@rambler.ru.*

Gabryuk Lyudmila A., Ph.D., assistant professor, e-mail: zdorova2003@rambler.ru; Gabryuk Viktor I., D.Sc., professor, e-mail: gabrukvi@rambler.ru.

1964; Андреев, 1970; Кокорин, 1994; Кручинин, 2006, 2007; Артюхин и др., 2008; Сеславинский, Аверков, 2010; Габрюк, 2011).

Задача определения времени погружения системы «якорь–канат» на заданную глубину при выметке имеет большое практическое значение.

Материалы и методы

С использованием динамики тела переменной массы было выполнено моделирование погружения якоря на заданную глубину с закрепленным к нему канатом.

Основным объектом исследования в данной работе является система «якорь–канат».

В работе используются следующие положения.

Гидродинамические коэффициенты канатов и цилиндров зависят от материала тела и числа Рейнольдса *Re* (Габрюк, 2011).

При $Re > 10^3$ гидродинамические коэффициенты канатов не зависят от числа Рейнольдса, т.е. наблюдается автомодельность по *Re* (Ионас, 1964; Габрюк, 2011).

В силу того что при погружении якоря число $Re > 10^3$ достигается в течение первых нескольких секунд, весь процесс погружения рассматривается как автомодельный по *Re*.

Эксперименты (Артюхин и др., 2008; Сеславинский, Аверков, 2010) показали, что:

— время погружения яруса (как и отдельных его элементов) зависит от его веса в воде и гидродинамических коэффициентов;

— средняя скорость погружения якоря составляет 1,4 м/с;

— время погружения яруса на глубину до 300 м составляет 10–15 мин.

Результаты и их обсуждение

Движение исследуется в системе координат *Oxz* с началом на поверхности воды (рис. 1). При использовании теоремы об изменении количества движения механической системы «якорь–канат» получаем:

$$\frac{d}{dt}(M_C\vec{V}_C) = \sum \vec{F}_k^e,$$

где $M_C = M_a + mz$ — масса системы; M_a — масса якоря, кг; m — линейная плотность каната, кг; mz — масса каната, кг; z — текущая координата системы «якорь–канат», равная глубине погружения, м; $\sum \vec{F}_k^e$ — сумма внешних сил системы «якорь–канат»; $\vec{V}_C$ — скорость центра масс системы, м/с.

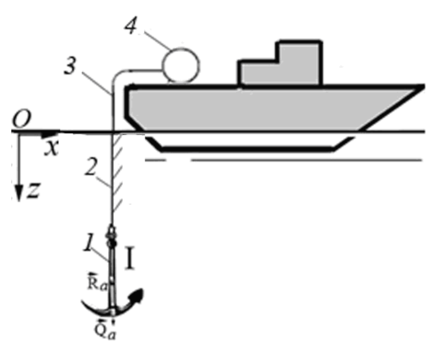

Рис. 1. Погружение системы «якорь–канат»: *1* — якорь; *2* — погруженная часть каната; *3* — непогруженная часть каната; *4* — буй

Fig. 1. Submersion of the system «anchor–tightrope»: *1* — anchor; *2* — submerged part of tightrope; *3* — upper part of tightrope; *4* — buoy

Масса системы «якорь–канат» переменная. Она является функцией глубины погружения *z*. Скорость центра масс системы «якорь–канат» определяется по формуле

$$\vec{V}_c = \frac{dz_c}{dt};\ z_c = \frac{M_a z + 0{,}5mz^2}{M_a + mz}.$$

Векторное уравнение движения центра масс системы «якорь–канат»:

$$\frac{d}{dt}\left[(M_a + mz)\frac{d}{dt}\left(\frac{M_a z + 0{,}5mz^2}{M_a + mz}\right)\right] = \vec{Q}_a + \vec{Q}_k - \vec{R}_a - \vec{R}_k.$$

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 получим:

$$m(dz/dt)V_C + M_C dV_C/dt = Q_a + Q_k - R_a - R_k, \quad (1)$$

где $V = dz/dt$ — скорость погружения текущей точки системы «якорь–канат», Q_a, Q_k, R_a, R_k — проекции веса в воде (Н) и гидродинамические силы якоря и каната, определяемые по формулам

$$Q_a = k_w^a M_a g;\ Q_k = k_w^k mgz;$$
$$R_a = 0{,}5C_r^a \rho S_a V^2 S_a = 0{,}5C_r^a \rho V^2 S_a;\ S_a = Dl\pi;$$
$$R_k = 0{,}5C_r^k \rho V^2 S_k = 0{,}5C_r^k \rho V^2 S_k;\ S_k = d \cdot z,$$

где ρ — плотность воды, кг/м^3; g — ускорение свободного падения, м/с^2; S_a, S_k — характерные площади якоря и каната, м^2; k_w^a, k_w^k — коэффициенты веса в воде якоря и каната; C_r^a, C_r^k — коэффициенты гидродинамических сил якоря и каната; D, l — диаметр и длина штока якоря, м; d — диаметр каната, м.

Запишем уравнение (1) в форме Коши:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{M_a + mz}{(M_a + mz)^2 - mz(M_a + 0{,}5mz)} \times$$
$$\times \left\{ \begin{aligned} &-\left[\frac{m^2 z(M_a + 0{,}5mz)}{(M_a + mz)^2} + 0{,}5\rho C_r^a lD\pi + 0{,}5\rho C_r^k d \cdot z \right](V)^2 + \\ &+ k_w^a M_a g + k_w^k mzg \end{aligned} \right\}. \quad (2)$$

Уравнение (2) решалось численно методом Рунге-Кутта. На рис. 2 приведены зависимости скорости от времени, полученные его численным решением.

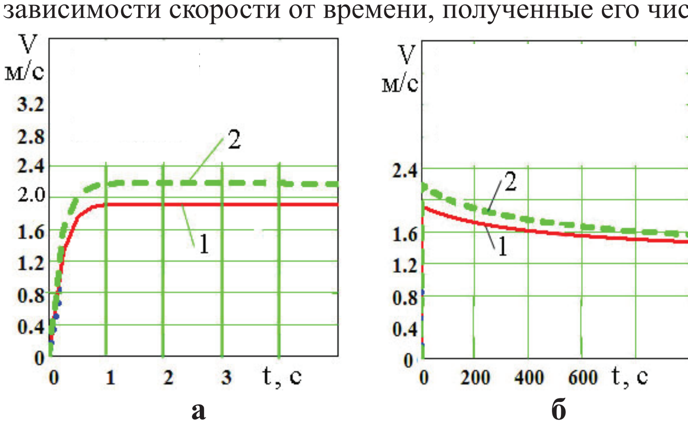

Рис. 2. Зависимости скорости (V, м/с) погружения канатов от времени: **а** — начало погружения; **б** — весь период погружения; *1* — якорь — бетон; *2* — якорь — сталь

Fig. 2. Dependences of the tightrope submersion velocity (V, m/s) on time: **a** — start of submersion; **б** — whole period of submersion; *1* — concrete anchor; *2* — steel anchor

Для вычислительного эксперимента брали канат из полиэстера (диаметр $d = 0{,}01$ м; линейная плотность $m = 0{,}07$ кг/м; коэффициент веса в воде $k_w^k = 0{,}26$; гидродинамический коэффициент $C_r^k = 0{,}023$) и якорь (диаметр штока $D = 0{,}1$ м; масса $M_a = 45$ кг).

На рис. 3 приведена зависимость времени погружения якоря с канатом от глубины.

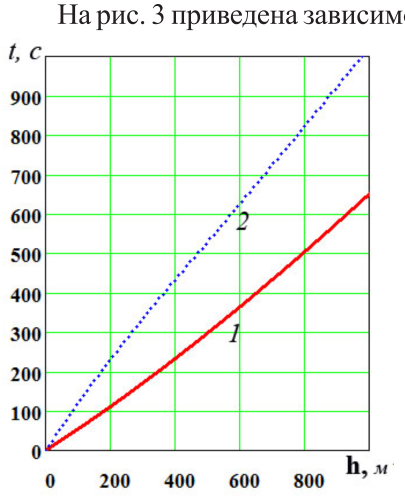

Рис. 3. Траектории зависимости времени погружения объекта (якоря с канатом) от глубины: *1* — якорь — бетон; *2* — якорь — сталь

Fig. 3. Dependence of the time of tightrope submersion with anchor on depth: *1* — concrete anchor; *2* — steel anchor

На рис. 4 приведены зависимости скорости погружения сложной конструкции (якоря с канатом) (линия 1) и одного якоря (линия 2), определенные аналитическим способом (канат — полиэстер, якорь — бетон).

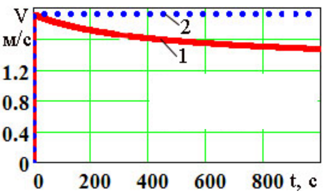

Рис. 4. Скорости погружения: *1* — якоря с канатом; *2* — якоря

Fig. 4. Submersion velocity for anchor with tightrope (*1*) and anchor (*2*)

Представляет интерес сравнить приведённые исследования с данными, полученными по формуле Ф.И. Баранова (1948) для дели и по формуле В.А. Ионаса (1964). Формула Ф.И. Баранова имеет вид

$$t = 2{,}85h\sqrt{\frac{h}{q}}, \tag{3}$$

где q — загрузка нижней подборы невода (вес грузил в воде), Н/м; h — глубина погружения, м.

При погружении уреза невода В.А. Ионас (1964) учитывал силу сопротивления, которая уравновешивается силами невода в воде и силами инерции. Ионас предлагает время погружения уреза определять по формуле

$$t = Ah\sqrt{\frac{\rho \cdot d}{q}}, \tag{4}$$

где A — коэффициент пропорциональности; h — глубина погружения; ρ — плотность воды; d — диаметр уреза; q — вес уреза в воде.

На рис. 5. приведены графики зависимостей времени от глубины погружения. Первая кривая получена по формуле Ф.И. Баранова. Вторая кривая (дискретные точки) — численное решение дифференциального уравнения (3) (канат — полиэстер, якорь — бетон; коэффициент гидродинамического сопротивления $C_r^a = 0{,}2$). Третья — численное решение дифференциального уравнения (3) (канат — полиэстер, якорь — сталь; $C_r^a = 0{,}5$). Четвертая — по формуле В.А. Ионаса (4) (канат — полиэстер, якорь — бетон). Пятая — по формуле В.А. Ионаса (канат — полиэстер, якорь — сталь).

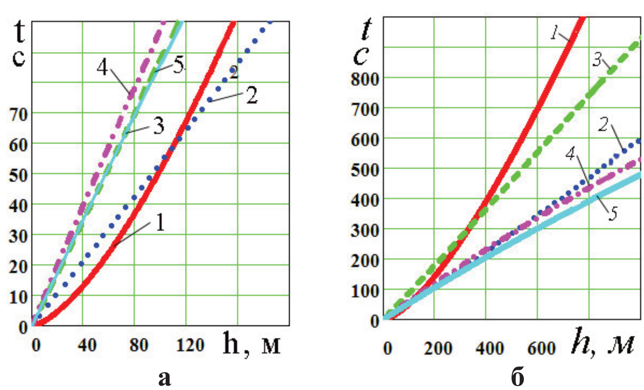

Рис. 5. Графики зависимостей времени погружения элементов рыболовных орудий от глубины, полученные различными исследователями: **а** — начало погружения; **б** — полный период погружения. Пояснения см. в тексте

Fig. 5. Dependences of the time of fishing gear elements submersion on depth from cited sources: **a** — start of submersion; **б** — whole period of submersion. See explanations in the text

Приведенный анализ свидетельствует о следующем:

а) формула Ф.И. Баранова не учитывает силы гидродинамического сопротивления, поэтому даёт большую погрешность;

б) результаты нашей работы близки к исследованию В.А. Ионаса;

в) исследования коррелируют с экспериментальными данными (Артюхин и др., 2008). В эксперименте Ю.Б. Артюхина скорость погружения якоря равна 1,4 м/с (на рис. 5 средняя скорость погружения равна 1,5 м/с).

Предлагаемая в настоящей работе методика определения времени погружения системы «якорь–канат» даёт более точные результаты по сравнению с методиками Ф.И. Баранова и В.А. Ионаса.

Выводы

Новизна предложенной работы заключается в том, что в ней развиты теоретические исследования Ф.И. Баранова и В.А. Ионаса, позволяющие оценивать время погружения элементов ярусной, ловушечной и других рыболовных систем.

Предложенные математические модели позволят более точно оценивать временные интервалы погружения элементов яруса и оптимизировать устройства, отпугивающие птиц от ярусов.

Разработанные математические модели можно использовать при исследовании динамики погружения якорных устройств, ярусов, ловушечных порядков.

Список литературы

Андреев Н.Н. Проектирование кошельковых неводов : моногр. — М. : Пищ. пром-сть, 1970. — 278 с.

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.

Баранов Ф.И. Теория и расчет орудий рыболовства : моногр. — М. : Пищепромиздат, 1948. — 436 с.

Габрюк В.И. Механика орудий рыболовства в математических моделях, алгоритмах, компьютерных программах : моногр. — Владивосток : Дальрыбвтуз, 2011. — 519 с.

Ионас В.А. Теоретический анализ движения донного невода // Тр. Калининградского технического института рыбной промышленности и хозяйства. — 1964. — Вып. 17. — С. 94–105.

Кокорин Н.В. Лов рыбы ярусами : моногр. — М. : ВНИРО, 1994. — 421 с.

Кручинин О.Н. Обоснование технологий кошелькового лова перспективных объектов промысла северо-западной части Тихого океана : дис. … д-ра техн. наук. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2007. — 386 с.

Кручинин О.Н. Тактика замета кошелькового невода и способы управления поведением рыб в зоне облова : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2006. — 127 с.

Сеславинский В.И., Аверков В.Н. Обоснование орудий лова для промысла лососей, альтернативных жаберным сетям // Изв. ТИНРО. — 2010. — Т. 160. — С. 282–297.

Поступила в редакцию 21.09.16 г.

Принята в печать 3.10.16 г.